

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ISSN 1563-0064

# РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ИНФОРМАТИКА

**Научно-технический журнал**

**№ 1(76), январь – май 2017**

**Основан в 1997 г.**

**Выходит 4 раза в год**

© *Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники, 2017*

**Свидетельство о государственной регистрации КВ № 12097-968 ПР 14.12.2006**

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
<b>РАДИОТЕХНИКА</b>	
БЕЗРУК В.М., ИВАНЕНКО С.А. ОБНАРУЖЕНИЕ НЕЗАНЯТЫХ ЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ В КОГНИТИВНЫХ РАДИОСЕТЯХ.....	4
<b>ТЕЛЕКОМУНИКАЦИИ</b>	
БЕЗРУК В.М., ВЛАСОВА В.О., КРИВЕНКО С.А. АНАЛІЗ ІНІЦІАТИВИ АЛЬЯНСУ ZIGBEE ЩОДО СТВОРЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОЇ МОВИ DOTDOT ДЛЯ ІoT.....	9
ЗЕМЛЯЧЕНКО А.Н., АБРАМОВ С.К., ЛУКИН В.В. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЖАТИЯ С ПОТЕРЯМИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ШУМОМ .....	14
БАРАННИК В.В., СИДЧЕНКО С.А., БАРАННИК Д.В. МЕТОД КРИПТОКОМПРЕССИОННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДВУХКАСКАДНОГО ОБОБЩЕННОГО ПОЗИЦИОННОГО КОДИРОВАНИЯ В БАЗИСЕ ПО ВЕРХНИМ ГРАНИЦАМ.....	22
БЕЗРУК В.М., ВЛАСОВА В.А., СКОРИК Ю.В., КОЛТУН Ю.Н., КОСТРОМИЦКИЙ А.И. АНАЛИЗ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНО-АКТУАТОРНОЙ СЕТИ И МЕТОД ИХ ВЫБОРА.....	28
ДОДУХ О.М., ХІМЕНКО В.В., МАЧАЛІН І.О., ТАРАСЕНКО Д.А. МЕТОД ФОРМУВАННЯ ДВОКОМПОНЕНТНОГО КОДУ ДЛЯ КОМПАКТНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ФРАГМЕНТА ЗОБРАЖЕННЯ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ.....	33
МЕРСНИ А., ИЛЬЯШЕНКО А.Е. НЕЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ МНОГОПУТЕВОЙ МНОГОАДРЕСНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ.....	38
<b>СИСТЕМЫ И ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ</b>	
КОЛАЧОВ С.П., ГУРЖІЙ П.М., МАСЕСОВ М.М., ГУРЖІЙ І.А. ІНФОКОМУНІКАЦІЙНА СИСТЕМА МЕДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ЕКСТРЕНОЇ ЕВАКУАЦІЇ ПОРАНЕНИХ.....	43
ПОПОВСКАЯ Е.О., МОСКАЛЕЦ Н.В. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ В СЕТЯХ ПИРИНГОВОЙ СВЯЗИ.....	48
<b>КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ</b>	
ГАВРИЛОВ Д.С., ФУСТИЙ В.С., ПОДДУБНЫЙ Б.А., ДРОЗД К.А., ЖУЙКОВ Д.Б. ОЦЕНКА БЫСТРОДЕЙСТВИЯ МЕТОДОВ СЕЛЕКТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ.....	53
<b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b>	
ЮДИН О.К., СТРЕЛЬБИЦКИЙ М.А. ІЄРАРХІЧНИЙ КЛАСИФІКАТОР АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ПРИКОРДОННОГО ВІДОМСТВА.....	57
КРАСНОРУЦКИЙ А.А. ПРОБЛЕМНЫЕ АСПЕКТЫ ДИСТАНЦИОННОГО ВИДЕОСЕРВИСА В УСЛОВИЯХ КРИЗИСНОЙ СИТУАЦИИ.....	61
РЕФЕРАТИ.....	67
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА.....	71
CALL FOR PAPERS. 15 <sup>th</sup> IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2017).....	73

# ПРЕДИСЛОВИЕ

к тематическому выпуску журнала  
«Радиоэлектроника и информатика», №1, 2017

Наиболее знаковым среди терминов, появившихся в начале XXI века, по праву можно считать «инфокоммуникации». Темпы развития инфокоммуникаций определяют динамику инфраструктурного обновления социально-экономической среды и перехода к Информационному обществу. Инфокоммуникации – это совокупность методов и средств накопления, обработки, хранения, защиты информации и переноса ее в пространстве, имплементированных в единую сетевую структуру, посредством которой обеспечивается доступность информационных ресурсов и информационный обмен. Развитие инфокоммуникаций является необходимым условием информационного обмена и построения информационной структуры общества. Это дает толчок развитию наукоемких технологий в инфокоммуникациях. Научеёмкость технологий связана с использованием строгого математического аппарата и высокоинтегрированных вычислительных средств при решении задач обработки и защиты информации в инфокоммуникациях. Это определяет актуальность обсуждения данных вопросов среди специалистов, работающих в области инфокоммуникаций.

В конце мая 2017 г. кафедра «Информационно-сетевая инженерия» Харьковского национального университета радиоэлектроники совместно с кафедрой «Боевого применения и эксплуатации АСУ» Харьковского национального университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба провела второй научно-практический семинар на тему «Научеёмкие технологии в инфокоммуникациях», которая тесно связана с основным научным направлением исследований кафедры. Этот семинар продолжил традиции первого семинара по такой тематике, который был проведен в рамках международной Крымской конференции «КрыМиКо'2013».

На семинаре были представлены доклады ведущих ученых из разных городов Украины по актуальным направлениям высокоинтеллектуальных инфокоммуникационных технологий хране-

ния, обработки, защиты и передачи информации, которые базируются на использовании строгих математических методов. На семинаре работали три секции. На 1-й секции рассматривались общие вопросы инфокоммуникаций, в частности, проблемы построения инфокоммуникационных сетей, вопросы кодирования, маршрутизации, планирования, контроля, управления, использования когнитивных технологий при передаче информации в сетях. На 2-й секции обсуждались вопросы обработки информации в инфокоммуникациях, включая вопросы интеллектуализированного кодирования, многомерно-го синтаксического преобразования, сегментации, обработки и сжатия изображений, контроля информационных потерь в центрах обработки данных, управления системами обработки информации. На 3-й секции рассматривались вопросы защиты информации и кибербезопасности, в частности, вопросы криптокомпрессионного представления изображений, устойчивости инфокоммуникационных систем от кибератак, различные методы обеспечения защиты при передаче информации информационной разведки в инфокоммуникационном пространстве.

Материалы ряда докладов, представленных на семинаре, публикуются в виде статей в настоящем тематическом выпуске журнала «Радиоэлектроника и информатика». Кроме того, материалы докладов ведущих ученых Харькова, Киева, Львова, Винницы, Черкасс использованы при подготовке второго издания коллективной монографии на тему «Научеёмкие технологии в инфокоммуникациях: обработка информации, кибербезопасность, информационная борьба» (под общей редакцией В.М. Безрука, В.В. Баранника), которая опубликована в издательстве «Лидер» (г. Харьков).

Д-р техн. наук, проф.,  
зав. кафедрой «Информационно-сетевая инженерия»

В.М. Безрук

## ОБНАРУЖЕНИЕ НЕЗАНЯТЫХ ЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ В КОГНИТИВНЫХ РАДИОСЕТЯХ

*БЕЗРУК В.М., ИВАНЕНКО С.А.*

Рассматривается обнаружение незанятых частотных каналов в когнитивных радиосетях. Это можно осуществить путём выявления радиосигналов, которые действуют в данных каналах. Поскольку количество средств, использующих частотный ресурс, велико, не представляется возможным знать заранее, какой сигнал необходимо обнаружить. Предлагаются методы обнаружения неизвестных радиосигналов, применение которых позволит определить занятость частотного канала в когнитивных радиосетях.

**Ключевые слова** – беспроводные технологии, методы обнаружения сигналов, когнитивные радиосети, неизвестные радиосигналы, частотные каналы, радиомониторинг.

**Key words** – wireless technology, methods of signal detection, cognitive radio, unknown radio signals, frequency channels, radio monitoring.

### 1. Введение

В настоящее время беспроводные технологии являются одной из наиболее развивающихся отраслей телекоммуникационной индустрии. В частности, она включает мобильную связь, спутниковое телевидение, радиодоступ в интернет, дистанционное управление объектами, в которых непосредственно осуществляется передача информации по радиоканалу. С каждым годом количество систем, использующих радиоресурс, неуклонно растёт. Как показывает анализ, на данный момент эффективность использования радиоспектра в большинстве диапазонов является невысокой [1], а освоение новых частотных диапазонов в силу различных факторов происходит достаточно медленно. Поэтому всё чаще прибегают к процедурам рефарминга и экономному использованию существующих частотных диапазонов путем применения технологий когнитивного радио (КР), концепция которого определена стандартом IEEE 802.22. Эти технологии дают возможность повысить эффективность использования радиоспектра за счет выделения вторичным пользователям частотных каналов в те интервалы времени, когда они являются свободными, т.е. временно не используются первичными пользователями. Это в целом не мешает работе первичным пользователям, за которыми закреплены эти частотные каналы [2, 3]. Эффективность работы когнитивных радиосетей в значительной мере зависит от качества работы алгоритмов выявления незанятых частотных каналов при радиомониторинге задан-

ных диапазонов частот. Эта задача может решаться методами обнаружения сигналов на фоне помех в анализируемых частотных каналах [4]. При радиомониторинге используются следующие методы обнаружения сигналов: энергетический; метод согласованной фильтрации и корреляционный метод; метод выявления свойств циклостационарности, метод на основе применения вероятностных моделей сигналов [5 – 9].

Энергетический метод обнаружения сигналов на фоне помехи основан на вычислении энергии наблюдаемой реализации помехи (либо сигнала с помехой) и сравнении с некоторым пороговым значением [5]. Этот метод наиболее распространён, благодаря малой вычислительной сложности и простоте реализации. Основным его недостатком является возрастание вероятности ложной тревоги при уменьшении соотношения «сигнал-шум», а также сложность определения необходимого порогового уровня с учетом постоянно меняющейся сигнальной и помеховой обстановки.

В методе выявления циклостационарных свойств сигналов используется информация о периодичности статистик полезных сигналов, в частности, математического ожидания, функции автокорреляция или спектральной функции. Такая периодичность обычно имеет место при модуляции несущих сигналов синусоидальной формы или кодировании переданных сигналов [6]. Данный метод обеспечивает лучшие характеристики обнаружения, нежели энергетический метод обнаружения при низком соотношении «сигнал-шум», однако он требует информацию о структуре сигнала и имеет высокую вычислительную сложность. В методах обнаружения сигналов на основе согласованного фильтра или коррелятора используется информация о форме обнаруживаемых сигналов [7]. Эта информация используется для получения частотной характеристики согласованного фильтра либо для формирования опорного сигнала в корреляторе. Данные методы лучше энергетического метода в отношении надёжности обнаружения и сходимости во времени, однако они требуют значительной информации о форме обнаруживаемых сигналах.

В методах обнаружения, основанных на знании вероятностных моделей обнаруживаемых сигналов, используются некоторые статистические характеристики сигналов [8]. Оценки неизвестных характеристик сигналов находятся с использованием обучающих выборок сигналов. Применяются также непараметрические методы обнаружения сигналов, которые приводят к ранговым и знаковым обнаружителям сигналов. В работе [9] проведен сравнительный анализ эффективности разных методов обнаружения сигналов.

Следует отметить, что в указанных методах обнаружения сигналов полагается известной помеха, а также требуется иметь информацию в той или иной форме об обнаруживаемых сигналах. Однако в задачах автоматизированного радиомониторинга такая априорная информация о форме и структуре сигналов либо их статистических характеристиках отсутствует в силу многообразия обнаруживаемых сигналов. При этом возможны разные сигнальные ситуации на фоне помехи: в частотном канале появился сигнал; прекратил действовать сигнал; действовал сигнал и появился еще один сигнал. В каждой из ситуаций необходимо решать задачу обнаружения сигналов на фоне помехи в условиях априорной неопределенности.

Таким образом, существует актуальная необходимость разработки методов обнаружения неизвестных сигналов на фоне помехи, которые не используют информацию об обнаруживаемых сигналах. В этой работе предлагаются методы обнаружения, основанные на применении лишь данных о помехах. Эти методы могут быть использованы в рамках технологий когнитивного радио для выявления незанятых частотных каналов.

## 2. Методы обнаружения неизвестных сигналов

В общем виде задача обнаружения сигнала  $S(t)$  на фоне помехи  $\xi(t)$  может быть сформулирована как проверка бинарных гипотез в отношении принятого сигнала  $x(t)$ :

$$H_1 : x(t) = S(t) + \xi(t), \quad (1)$$

$$H_0 : x(t) = 0 + \xi(t). \quad (2)$$

При проверке бинарных гипотез может быть допущена «ошибка первого рода» и «ошибка второго рода». Вероятность совершения ошибки первого рода часто называется «ложной тревогой». В задачах когнитивного радио вероятность ложного обнаружения является важной характеристикой, так как ложные обнаружения приводят к пропуску свободных частотных каналов. Ошибка второго рода носит название «пропуск цели», что приводит к возникновению коллизий с первичными пользователями. В когнитивных радиосетях должен достигаться компромисс между обоими типами ошибок.

В классических задачах обнаружения сигналов по критерию минимума средней вероятности ошибки оптимальное решение принимается по максимуму отношения правдоподобия:

$$\frac{W(\bar{X} / \bar{\alpha}^1)}{W(\bar{X} / \bar{\alpha}^0)} \geq \frac{P_0}{P_1}, \quad (3)$$

здесь  $W(\bar{X} / \bar{\alpha}^1)$ ,  $W(\bar{X} / \bar{\alpha}^0)$  – функции правдоподобия соответственно сигнала и помехи, которые вычисляются по векторам наблюдений  $\bar{X}$ ;  $\bar{\alpha}^1$ ,  $\bar{\alpha}^0$  – параметры распределений сигнала и помехи;  $P_1$  и  $P_0$  – априорные вероятности присутствия и отсутствия сигнала.

Параметрическая априорная неопределенность обычно преодолевается с применением обучающих выборок сигналов, которые используются для оценивания неизвестных параметров плотностей распределения сигналов в рамках выбранной вероятностной модели сигналов. Однако специфика реальных задач радиомониторинга такова, что на обработку поступают неизвестные сигналы, для которых не представляется возможным получить обучающие выборки в силу их разнообразия.

Поэтому следует применить нетрадиционные методы обнаружения, которые основаны лишь на задании вероятностных характеристик помехи в частотном канале [4]. При этом обнаружение неизвестных сигналов в общем виде определяется следующим решающим правилом:

$$H^1 : W(\bar{X} / \bar{\alpha}^0) < \lambda \quad (4a)$$

– принимается гипотеза о наличии сигнала;

$$H^0 : W(\bar{X} / \bar{\alpha}^0) > \lambda \quad (4б)$$

– отвергается гипотеза о наличии сигнала.

Здесь  $\lambda$  – некоторое пороговое значение, определяемое из условия обеспечения заданного значения вероятности ложной тревоги;  $\bar{\alpha}^0$  – параметр многомерной плотности распределения помехи.

С учетом аналитического выражения для гауссовского распределения вектора наблюдений  $\bar{X}$  принятие решений с помощью решающего правила (4a), (4б) сводится к сравнению расстояния Малаханобиса с порогом:

$$H^1 : (\bar{X} - \bar{\mu}^0)^T (R^0)^{-1} (\bar{X} - \bar{\mu}^0) > \Delta, \quad (5a)$$

$$H^0 : (\bar{X} - \bar{\mu}^0)^T (R^0)^{-1} (\bar{X} - \bar{\mu}^0) \leq \Delta. \quad (5б)$$

Здесь  $\bar{\mu}^0, R^0$  – оценки среднего вектора и корреляционной матрицы, полученные по обучающей выборке реализаций помехи;  $\Delta$  – некоторое пороговое значение.

На основе (5a), (5б) может быть получено решающее правило обнаружения в рамках описания наблюдений вероятностной моделью в виде ортогональных разложений, когда наблюдение  $\bar{X}$  представляется вектором коэффициентов разложения  $\bar{b}$  в некотором ортонормированном базисе:

$$H^1 : (\bar{b} - \bar{\mu}_b^0)^T (R_b^0)^{-1} (\bar{b} - \bar{\mu}_b^0) > \Delta_{\bar{b}}; \quad (6a)$$

$$H^0 : (\bar{b} - \bar{\mu}_b^0)^T (R_b^0)^{-1} (\bar{b} - \bar{\mu}_b^0) \leq \Delta_{\bar{b}}, \quad (6b)$$

где  $\bar{b}$ ,  $\bar{\mu}_b^0$ ,  $R_b^0$  – отображение соответственно  $\bar{X}$ ,  $\bar{\mu}^0$ ,  $R^0$  в координатную область, определяемую выбранным базисом. Выбирая базис Карунена-Лоэва, получаем следующее решающее правило:

$$H^1 : \sum_{j=1}^N \frac{(c_j - \mu_{jc}^0)^2}{(\sigma_{jc}^0)^2} > \Delta_c^0; \quad (7)$$

$$H^0 : \sum_{j=1}^N \frac{(c_j - \mu_{jc}^0)^2}{(\sigma_{jc}^0)^2} \leq \Delta_c^0,$$

где  $(\sigma_{jc}^0)^2 = \lambda_j$  – собственные числа корреляционной матрицы помехи  $R^0$ ;  $\bar{c}$  – представление реализации  $\bar{X}$  размерностью  $L$  в базисе Карунена-Лоэва с размерностью  $N < L$ .

При обеспечении соответствующих нормировок, приводящих к равенству дисперсий в координатном представлении, может быть использовано более простое решающее правило:

$$H^1 : \sum_{j=1}^N (c_j - \mu_{jc}^0)^2 > \Delta_c; \quad (8)$$

$$H^0 : \sum_{j=1}^N (c_j - \mu_{jc}^0)^2 \leq \Delta_c.$$

Если решение принимается по выборке объемом  $v$  реализаций  $\bar{X}_v$ , решающее правило (7) принимает следующий вид:

$$H^1 : \sum_{r=1}^v \sum_{j=1}^N \frac{(c_j - \mu_{jc}^0)^2}{(\sigma_{jc}^0)^2} > \Delta_{cv}; \quad (9)$$

$$H^0 : \sum_{r=1}^v \sum_{j=1}^N \frac{(c_j - \mu_{jc}^0)^2}{(\sigma_{jc}^0)^2} \leq \Delta_{cv}.$$

Выбирая описание наблюдений в виде совокупности координат энергетических спектров в некотором ортонормированном базисе, получаем решающее правило, основанное на сравнении евклидовых расстояний текущих оценок энергетического спектра наблюдений до эталонов:

$$H^1 : \sum_{j=1}^N (G_j - G_{jc}^0)^2 > \Delta_G; \quad (10)$$

$$H^0 : \sum_{j=1}^N (G_j - G_{jc}^0)^2 \leq \Delta_G.$$

Здесь эталоны  $G_j^0 = \frac{1}{n_0} \sum_{r=1}^{n_0} (c_{jr}^0 - \mu_{jc}^0)^2$ ,  $j = \overline{1, N}$  – оценки координат энергетического спектра помехи, найденные по обучающей выборке объемом  $n_0$

реализаций  $n_0$ ;  $G_j = \frac{1}{v} \sum_{r=1}^v (c_{jr} - \mu_{jc}^0)^2$ ,  $j = \overline{1, N}$  – текущая оценка энергетического спектра наблюдения, найденная по выборке объема  $v \ll n_0$ .

Приведенные решающие правила определяют некоторые возможные алгоритмы обнаружения неизвестных сигналов на фоне помехи, которые могут быть использованы для выявления незанятых частотных каналов в когнитивных радиосетях.

### 3. Исследования решающих правил обнаружения неизвестных сигналов

Для проверки работоспособности и сравнительного анализа рассмотренных решающих правил обнаружения неизвестных сигналов (5)-(10) проведены их исследования методом статистического моделирования. Для этого решающие правила реализованы программно. Статистические испытания проведены с помощью базовой выборки шести типов псевдослучайных сигналов связи с различным видом и параметрами модуляции [4]. Сигналы получены путем модуляции гармонического сигнала псевдослучайной последовательностью импульсов. Для каждого типа сигнала получены обучающие и контрольные выборки по 100 реализаций из 60 спектральных отсчетов ( $L = 60$ ) с помощью шестидесятиканального анализатора спектра параллельного типа при полосе анализа  $\Phi = 1,5$  кГц и полосе пропускания анализирующих фильтров  $\Delta f = 25$  Гц. Сформированные выборки реализаций спектрограмм сигналов с выхода анализатора спектра вводились в ЭВМ. Спектрограммы сигналов рассматривались как реализации случайного вектора наблюдений  $\bar{X}$  в приведенных решающих правилах обнаружения. Огибающие средних спектров указанных шести типов псевдослучайных сигналов связи приведены на рис. 1.

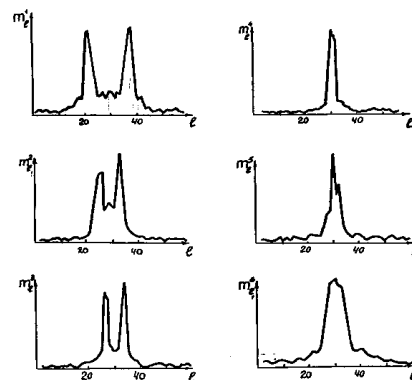


Рис. 1. Усредненные спектры псевдослучайных сигналов связи с различным видом и параметрами модуляции

В целях наглядной иллюстрации каждая реализация базовой выборки спектральных статистик сигналов представлена в двумерном пространстве дискриминантных базисных векторов, построенных по обучающим выборкам сигналов (рис. 2). Здесь хорошо видна раздельная локализация собственных областей каждого типа сигнала. Это дает трактовку и пояснение физического смысла предложенных решающих правил обнаружения неизвестных сигналов. Эта информация используется для построения собственной области помехового сигнала. В этих решающих правилах решение о появлении неизвестного сигнала принимается, если реализации этого сигнала не попадают в собственную область помехового сигнала.

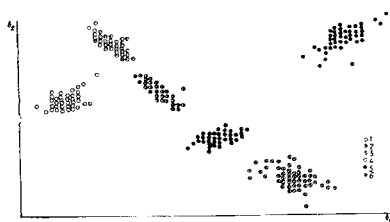


Рис. 2. Проекция реализаций спектрограмм шести типов сигналов в двумерное пространство дискриминантных базисных векторов

С использованием указанных выборок псевдослучайных сигналов связи путем статистического моделирования проведены исследования эффективности разных решающих правил обнаружения неизвестных сигналов (5)-(10). Для этого алгоритмы обнаружения сигналов реализованы программно на ЭВМ. По обучающим выборкам помеховых сигналов получены оценки параметров решающих правил и пороговые значения. Контрольные выборки сигналов использованы для получения оценок показателей качества обнаружения неизвестных сигналов методом статистических испытаний.

Приведем некоторые результаты исследований. В частности, для иллюстрации работоспособности решающих правил обнаружения в таблице приведены результаты обнаружения для решающего правила обнаружения (9), реализованного при  $N=6$ ,  $v=4$  и  $v=6$ . При этом использовались разные виды полезных (неизвестных) сигналов  $\bar{X}^1$  и помеховых сигналов  $\bar{X}^0$ . Эти полезные и помеховые сигналы определились различными комбинациями из описанной выше базовой выборки псевдослучайных сигналов связи в следующем виде: случай А –  $\bar{X}^1 = (\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_5)$ ,  $\bar{X}^0 = (\bar{X}_2 + \bar{X}_5)$ ; случай Б –  $\bar{X}^1 = (\bar{X}_2 + \bar{X}_5)$ ,  $\bar{X}^0 = (\bar{X}_2 + \bar{X}_3)$ ; случай В –

$\bar{X}^1 = (\bar{X}_2 + \bar{X}_3)$ ,  $\bar{X}^0 = (\bar{X}_2)$ . Пороговые значения  $\Delta_G^0$  были выбраны из условия обеспечения вероятности ложной тревоги  $\hat{P}_{(1/0)} = 0,02$ .

Оценки вероятностей пропуска неизвестных сигналов  $P_{(0/1)}$

Оценки значения $P_{(0/1)}$		
$v = 4$	$v = 6$	Вид $\bar{X}^1, \bar{X}^0$
0,08	0,006	Случай А
0,03	0,01	Случай Б
0,24	0,16	Случай В

Полученные результаты исследований подтверждают работоспособность предложенных решающих правил обнаружения неизвестных сигналов на фоне помехи в анализируемых частотных каналах.

### Выводы

1. Предложены нетрадиционные решающие правила обнаружения неизвестных сигналов на фоне помех, которые строятся с использованием информации лишь о помехе в частотных каналах. Эти решающие правила могут быть использованы в технологиях когнитивного радио для выявления свободных частотных каналов.

2. Приведены некоторые результаты экспериментальных исследований решающих правил обнаружения неизвестных сигналов, полученные путем статистического моделирования на выборках псевдослучайных сигналов связи с разным видом и параметрами модуляции. Результаты подтверждают работоспособность предложенного метода обнаружения неизвестных сигналов на фоне помехи.

**Литература:** 1. *Wyglinski A.* Cognitive Radio Communications and Networks. Academic Press, 2009. 736p. 2. *Haykin S.* Cognitive Dynamic Systems. Cambridge University Press, 2012. 322 p. 3. *Слободянюк П.В., Благодарный В.Г.* Радиомониторинг: вчера, сегодня, завтра. Прилуки: Аир-Поліграф, 2010. 352с. 4. *Безрук В.М., Певцов Г.В.* Теоретические основы проектирования систем распознавания сигналов для автоматизированного радиоконтроля. Харьков: Коллегиум, 2007. 430 с. 5. *Zhuan Y., Memik G., and Grosspietsch J.* Energy Detection Using Estimated Noise Variance for Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks // IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2008, Apr. 2008). 2008. P. 711–716. 6. *Pawelczak P.* Cognitive Radio: Ten Years of Experimentation and Development // IEEE Communications Magazine. 2011. Vol. 49, № 3. P. 90–100. 7. *Tang H.* Some Physical Layer Issues of Wide-band Cognitive Radio Systems // IEEE Int. Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks (Baltimore, MD, Jun. 2005). 2005. P. 151–159. 8. *D. de la Mata-Moya, M. P. Jarabo-Amores, M. Rosa-Zurera, J. C. Nieto Borge and F. Lopez-Ferreras.* Combining MLPs and RBFNNs to Detect Sig-

nals With Unknown Parameters // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2009. Vol. 58, № 9. P. 2989-2995. 9. *Smitha K.G. and Vinod A.P.* Cluster based power efficient cooperative spectrum sensing under reduced bandwidth using location information // AEUE – International Journal of Electronics and Communications. 2012. Vol.66, № 8. P. 619-624.

**Transliterated bibliography:**

- [1] *Wyglinski A.* Cognitive Radio Communications and Networks. Academic Press, 2009. 736 p.
- [2] *Haykin S.* Cognitive Dynamic Systems. Cambridge University Press, 2012. 322 p.
- [3] *Slobodjanjuk P.V., Blagodarnyj V.G.* Radiomonitoring: vchera, segodnja, zavtra.- Priluki: Air-Poligraf, 2010. – 352s.
- [4] *Bezruk V.M., Pevcov G.V.* Teoreticheskie osnovy proektirovanija sistem raspoznavanija signalov dlja avtomatizirovannogo radiokontrolja.-Har'kov: Kollegium, 2007. 430 s.
- [5] *Zhuan Y., Memik G., and Grosspietsch J.* Energy Detection Using Estimated Noise Variance for Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks // IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2008, Apr. 2008). 2008. P. 711–716.
- [6] *Pawelczak P.* Cognitive Radio: Ten Years of Experimentation and Development // IEEE Communications Magazine. 2011. Vol. 49, № 3. P. 90-100.
- [7] *Tang H.* Some Physical Layer Issues of Wide-band Cognitive Radio Systems // IEEE Int. Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks (Baltimore, MD, Jun. 2005). 2005. P. 151–159.

- [8] *D. de la Mata-Moya, M. P. Jarabo-Amores, M. Rosa-Zurera, J. C. Nieto Borge and F. Lopez-Ferreras.* Combining MLPs and RBFNNs to Detect Signals With Unknown Parameters // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2009. Vol. 58, № 9. P. 2989-2995.
- [9] *Smitha K.G. and Vinod A.P.* Cluster based power efficient cooperative spectrum sensing under reduced bandwidth using location information // AEUE – International Journal of Electronics and Communications. 2012. Vol.66, № 8. P. 619-624.

Поступила в редколлегию 12.03.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Баранник В.В.

**Безрук Валерий Михайлович**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ИСИ ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, тел. 0677223118, e-mail: [valeriy\\_bezruk@ukr.net](mailto:valeriy_bezruk@ukr.net).

**Иваненко Станислав Андреевич**, аспирант, ассистент кафедры ИСИ ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, тел. 0993249717, e-mail: [sta-ivanenko@yandex.ru](mailto:sta-ivanenko@yandex.ru).

**Bezruk Valeriy**, doctor of technical Sciences, professor, head of the Information and Network Engineering Department, Kharkiv National University of Radioelectronics. Address: Ukraine, 61166, Kharkov, Nauka Avenue, 14, e-mail: [valeriy\\_bezruk@ukr.net](mailto:valeriy_bezruk@ukr.net).

**Ivanenko Stanislav**, PhD student, assistant of Information and Network Engineering Department, Kharkiv National University of Radio Electronics. Address: Ukraine, 61166, Kharkov, Nauka Avenue, 14, tel. 0993249717, e-mail: [sta-ivanenko@yandex.ru](mailto:sta-ivanenko@yandex.ru)



# ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 681.518.5

## АНАЛІЗ ІНІЦІАТИВИ АЛЬЯНСУ ZIGBEE ЩОДО СТВОРЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОЇ МОВИ DOTDOT ДЛЯ ІОТ

*БЕЗРУК В.М., ВЛАСОВА В.О., КРИВЕНКО С.А.*

Розглядається будова ZigBee для створення мережі моніторингу та контролю за станом ліній електропередачі. Технології IoT традиційно використовують в мережах з низькою швидкістю, низькою потужністю і короткими пакетами даних. Аналіз зосереджений на прикладі реалізації концепції "розумного міста" з підтримкою додатків IoT. Експериментальні результати показують ефективність і стабільність роботи системи.

**Ключові слова:** Інтернет речей, перетворення зірки в сітку, томографія електричного опору, ZigBee.

**Keywords:** Internet of Things, star-mesh transform, Electrical resistivity tomography, ZigBee.

### Вступ

Багато комунікаційних технологій добре відомі, такі як Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee і стільникові 2G/3G/4G. Але є кілька нещодавно створених нових варіантів мереж, наприклад, Thread як альтернатива для додатків домашньої автоматизації, і технологій ширококомовного телебачення, що реалізуються у великих містах для більш широкого сегмента на основі використання IoT. Залежно від застосування такі фактори, як діапазон частот, вимоги до даних, вимоги безпеки та потужності і терміну служби батареї диктують вибір тієї чи іншої форми поєднання технологій.

В січні 2017 року некомерційний альянс ZigBee Alliance представив dotdot як універсальну мову для Інтернету речей IoT [1].

Група говорить, що мова dotdot приймає IoT на рівні додатків ZigBee і дозволяє йому працювати в різних мережних технологіях. Це важливо, оскільки в даний час більшість IoT пристроїв не говорять однією мовою, навіть якщо вони використовують ту саму бездротову технологію. Результатом є Інтернет речей, в якому є клаптеві переклади, що зроблені в хмарі. Розробники платформи і додатків повинні підтримувати зростаючий набір унікальних інтерфейсів для кожного постачальника продуктів. Альянс ZigBee був заснований в 2002 році і в даний час налічує понад 400 членів. Альянс створив малопотужну бездротову технологію сітчастої (MESH) мережі для підключення. А в 2007 році він випустив відкриту мову, яка підтримує сотні різноманітних інтелектуальних пристроїв у будинках і на підприємствах. Альянс ZigBee вже працює на dotdot з ще однією некомерційною групою Thread Group. Мережі цієї групи на базі Інтернет протоколу з'єднують інтелектуальні домашні пристрої. Бездротова сітчаста мережа ZigBee, мережа IP

Thread засновані на стандарті IEEE 802.15.4. Але це не є обов'язковою вимогою для роботи dotdot. Чи є мова dotdot необхідною?

Джахангир Мохаммед, генеральний менеджер групи IoT компанії Cisco Jasper, сказав: «Якщо у вас є 100 пристроїв, ви, ймовірно, маєте 99 операційних систем. Це явна фрагментація». «Мова dotdot ZigBee, безумовно, може допомогти з цією фрагментацією», пише Робб Хеншо, керівник глобальних комунікацій для IoT Хмари в Cisco Jasper, в електронному листі до SDxCentral. «Ще існує необхідність спільної мови, яка дозволить всім пристроям спілкуватися, з допомогою dotdot мови спільнота ZigBee вирішує правильні проблеми». Але є й інші конкуруючі групи, такі як AllSeen Альянс і Weave Google екосистеми, які намагаються вирішити ту саму проблему. «З плином часу промисловість, ймовірно, побачить, як одна з цих груп або мов виникне як переможець» говорить Henshaw. Cisco Jasper любить віддалитися від таких груп, як ZigBee, які він вважає орієнтованими на споживчі товари, на відміну від корпоративного класу і промислового устаткування. «Оголошення Dotdot насправді не має ніякого впливу на Cisco Jasper», говорить Хеншо. «Наша платформа IoT являє собою автоматизовану платформу управління зв'язком, а мова додатку не має значення для нас, тому що ми агностики в цьому сенсі». Альянс ZigBee зробив собі ім'я в споживчих товарах IoT, до складу групи дійсно входять такі компанії, як Huawei і Schneider Electric, які роблять промислові IoT [2]. Автоматизація деяких сфер підвищує безпеку життєдіяльності людини, а безпека людини зараз є пріоритетним напрямком у розвитку технологій.

Ідеї створення інтелектуальних систем, які б допомагали забезпечувати людині комфорт і безпеку, були запропоновані вже досить давно, проте в той час реалізувати ці ідеї було неможливо через відсутність ресурсів і технологій, що дозволяють це зробити.

Вираз "Розумне місто", останнім часом став дуже популярним. При цьому настільки широкий і, по суті, невизначений, що його використовують в самих різних контекстах і з самими різними цілями. Існує безліч ідей по створенню таких міст у світі. Пропонують найрізноманітніші концепції "розумного міста" і його побудови. В даній статті розглянуто аспект контролю за станом ліній електроживлення, що є одним з найважливіших факторів забезпечення якості життя.

*Метою дослідження є аналіз можливостей альтернативних підходів на прикладі застосування мови Python як універсальної для різних операційних систем IoT.*

## 1. Модель IoT

### 1.1. Модель ZigBee

Мова dotdot є універсальною мовою Інтернету речей, що дає можливість для смарт-об'єктів виконувати спільну роботу в будь-якій мережі. Аналогічні можливості має мова Python, яка дозволяє проводити для смарт-об'єктів спільну роботу в будь-якій мережі на основі інфраструктури веб-клієнтів та веб-серверів.

Типове використання одного з кластерів ZigBee наведено на рис. 1 [3].

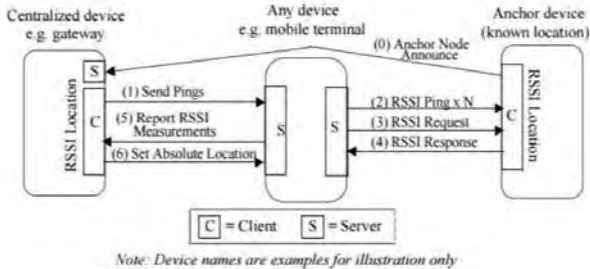


Рис. 1. Типове використання одного з кластерів ZigBee

Протоколи ZigBee розроблені для використання у вбудованих додатках, що вимагають низьку швидкість передачі даних і низьке енергоспоживання. Мета ZigBee – це створення недорогої мережі, що сама зорганізується, з сітчастою топологією, призначеної для вирішення широкого кола завдань. ZigBee призначений для мобільних пристроїв, де необхідна тривала робота від батареї, тому ключовим завданням є зменшення часу роботи передавачів. Цей час визначається пропускну здатністю каналу при заданому об'ємі інформації, яку необхідно передати. Як приклад можна розглянути передачу інформації, якщо реалізуються дві топології – зірка та сітка для п'яти вузлів (рис. 2).

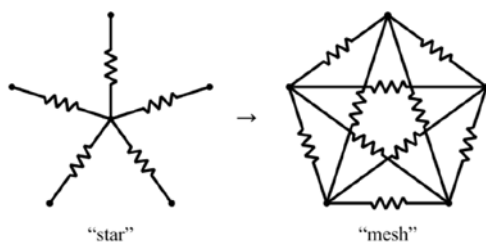


Рис. 2. Перетворення топології мережі

Для порівняння цих двох підходів необхідні кількісні характеристики, які розглядаються в наступному підрозділі.

### 1.2. Передача даних у IoT

У чистому вигляді, при ефірній передачі, швидкість передачі даних становить 250 Кбіт/с для кожного каналу в діапазоні 2.4 ГГц, 50 кбіт/с для кожного каналу в діапазоні 915 МГц. Відстань передачі – від 10 до 75 метрів та понад 1500 метрів

для ZigBee Pro, хоча вона дуже залежить від параметрів конкретного обладнання і середовища передачі. Максимальна вихідна потужність радіовипромінювання в основному становить від 0 до 20 дБм (від 1 до 100 мВт). Стандарт передбачає пропорційне збільшення потужності передавача для збільшення швидкості передачі даних [4].

Можна виділити 3 основних способи взаємодії з інтернет-речами:

- прямий доступ;
- доступ через шлюз;
- доступ через сервер.

У разі прямого доступу інтернет-речі повинні мати власну IP-адресу або мережевий псевдонім, за яким до них можна звернутися з будь-якого клієнтського додатку. Інтерфейс з такими речами зазвичай виконаний у вигляді веб-ресурсу з графічним інтерфейсом для управління за допомогою веб-браузера. Можливе використання спеціалізованого програмного забезпечення.

Недоліки такого способу очевидні:

- необхідність мати фіксовану адресу в мережі, що залежить від провайдера послуги зв'язку з Інтернетом таких речей. Іншим виходом із ситуації є використання аліаса (мережевого псевдоніма IP-адреси), що вимагає постійного звернення інтернет-речі до спеціального сервера з запитом про оновлення мережевої адреси за псевдонімом;

- ліміт підключень до пристрою – викликано низькою якістю зв'язку інтернет-речей, а також їх слабкими обчислювальними ресурсами. Така проблема вирішується шляхом включення до складу інтернет-речі високопродуктивного обладнання та підключення речей до стабільного джерела зв'язку з Інтернетом. Це викликає необхідність у більшому споживанні енергії і часто змушує робити такі речі стаціонарними, що живляться від постійних джерел електроенергії.

Доступ до інтернет-речей через шлюз є більш раціональним способом організації взаємодії і повністю витісняє метод прямого доступу в разі необхідності організації зв'язку бездротових сенсорних мереж або мережі інтернет-речей з глобальною мережею Інтернет. Більшість стандартів бездротових сенсорних мереж не підтримують протокол IP, використовуючи власні протоколи взаємодії. Така особливість викликає необхідність наявності пристрою для ретрансляції повідомлень з сенсорної мережі в мережу Інтернет для сумісності протоколів.

Недоліки такого підходу ті ж, що й у випадку прямого доступу, але поширюються вони на шлюз.

Доступ до інтернет-речей через сервер має на увазі наявність посередника між інтернет-речами

і користувачем. Таким посередником є сервер, в основні функції якого входить:

- прийом повідомлень від інтернет-речей і передача їх користувачам;
- зберігання прийнятої інформації та її обробка;
- забезпечення користувацького інтерфейсу з можливістю двостороннього обміну між користувачем і інтернет-реччю.

Такий спосіб доступу є найбільш раціональним і часто використовуваним, оскільки дозволяє перенести навантаження обробки запитів користувачів з інтернет-речей на централізований сервер, тим самим розвантажуючи слабкий радіо-канал зв'язку інтернет-речей, перерозподіляючи навантаження на дротові канали зв'язку між сервером і користувачами.

Метод централізованого сервера також надає надійні засоби зберігання і обробки інформації, дозволяє інтернет-речам взаємодіяти один з одним і користуватися хмарними обчисленнями. Даний підхід може використовувати метод шлюзу для з'єднання локальних бездротових мереж з сервером.

У наведеному проекті використовується метод локального сервера, яким виступає Raspberry Pi 3.

### 1.3. Взаємодія елементів

Більшість інтернет-речей є самостійними пристроями, що передають деяку інформацію в базу даних для подальшої обробки та передачі кінцевим користувачам. Для збору, зберігання, обробки, спрощення пошуку, контролю та візуалізації інформації використовується локальний сервер управління інтернет-речами, що включає в себе:

- модуль обробки інформації;
- базу даних для зберігання інформації, що збирається;
- інтерфейс взаємодії з інтернет-речами (деякий протокол, що підтримується всіма речами);
- систему контролю користувача доступу до речей, управління їх ієрархією, параметрами і функціоналом.

Останній пункт може бути перенесений на окремий локальний чи централізований сервер і винесений на відокремлену систему управління, відділяючи один від одного базу даних, що збираються, і базу даних управління речами.

Модуль обробки інформації може проводити розпакування стислої для прискорення транспортування інформації, проводити арифметичні і логічні обчислення, класифікацію і перетворення прийнятої інформації до зрозумілого формату сприйняття.

Для зберігання інформації з підведенням деякої статистики, необхідної для моніторингу об'єктів, а також надання актуальної опублікованої інформації всім користувачам незалежно від їх часу підключення використовується база даних.

Управління інтернет-речами проводиться також через сервер. Користувач відправляє команду на сервер управління, а він, у свою чергу, транслює її адресату. Набір команд управління повинен бути мінімальним і загальним для всіх інтернет-речей для забезпечення повного відділення управління від даних. Це важлива вимога до інтернет-речей, оскільки дозволяє значно спростити обмін інформацією між користувачами і речами, а також зробити крок на шляху до стандартизації методів взаємодії в Інтернеті речей і створення загального центру управління.

Відділення керуючої інформації від даних передбачає виділення мінімального набору команд і сутностей, над якими ці команди можуть бути виконані. Наприклад, для вимикання лампочки, включення тостера або перемикання режиму зйомки відеокамери можна виконувати одну і ту ж команду – запис. Даними в такому випадку будуть стани пристроїв. Для отримання інформації необхідно виконати зчитування поточного стану пристрою або окремої його складової частини.

## 2. Результати дослідження

Архітектура Інтернету речей передбачає наявність таких функціональних рівнів: мережа датчиків, шлюз, управління, додаток. Оскільки нижній рівень складається з датчиків, сенсорів та актуаторів, то відразу ж виникає необхідність в специфічних протоколах для забезпечення взаємодії цих пристроїв один з одним і верхніми рівнями. Стандартні прикладні протоколи не підходять через їх непристосованість до умов мережі Інтернету речей. Датчик, зазвичай мініатюрний, з невеликою пам'яттю, вимірює фізичні параметри в режимі реального часу, найчастіше в умовах низького енергозабезпечення. Результати вимірювань обробляються сенсорним вузлом і передаються на сервер. Обсяг інформації, що формується одним сенсорним вузлом, порівняно невеликий, проте більшість сервісів Інтернету речей побудовано на принципі обробки інформації від безлічі вузлів, що принципово відрізняється від архітектури, прийнятої в класичних мережах, типу «абонент – вузол зв'язку» для телефонії, «клієнт-сервер» – для передачі даних.

IoT була застосована до пристроїв для поліпшення їх характеристик на прикладі забезпечення перетворення топології. Була застосована підписка на сервіс Event Hub Azure IoT для польового експерименту. Різні нові додатки обробки даних програмного забезпечення за допомогою фреймворка (Python Web Framework) і SQLAlchemy перебувають на стадії розробки для подальшого підвищення продуктивності мережі і ефективності обслуговування великої кількості пристроїв IoT.

## 2.1. Датчик-потенціометр

Нижче викладені основні концепції перетворення трьох опорних Microsoft IoT проектів: індикатора, що блимає; IoT веб браузер; датчик-потенціометр [6]. В запропонованому проекті був реалізований потенціал мікросхеми MCP3008, яка має вісім несиметричних входів. Наші інтелектуальні результати можуть бути розглянуті на прикладі переходу від одного входу до двох входів.

Два поворотних потенціометри і два світлодіоди LED підключені до аналого-цифрового перетворювача та Raspberry Pi 3. Аналого-цифровий перетворювач на основі протоколу SPI був використаний для читання величини резисторів і для управління LED на основі положення щіток потенціометрів.

Були використані такі компоненти: два світлодіоди; два резистори 330 Ом; один резистор 10 кОм; один 10-бітний аналого-цифровий перетворювач MCP3008; два 10 кОм тримерних потенціометри; Raspberry Pi 3 IoT; один макет і кілька дровтів; Raspberry Pi 7" сенсорний рідкокристалічний екран.

Нижче (рис. 3) наведена інформація щодо мікросхеми MCP3008.

CH0	1	16	V <sub>DD</sub>
CH1	2	15	V <sub>REF</sub>
CH2	3	14	AGND
CH3	4	13	CLK
CH4	5	12	D <sub>OUT</sub>
CH5	6	11	D <sub>IN</sub>
CH6	7	10	CS/SHDN
CH7	8	9	DGND

Рис. 3. Аналого-цифровий перетворювач MCP3008

Мікросхема MCP3008 є 10-бітний аналого-цифровий перетворювач з вісьмома несиметричними входами. Він здатний формувати до 200 кілобайт в секунду.

Нижче (рис. 4) наведена інформація щодо RaspberryPi3.

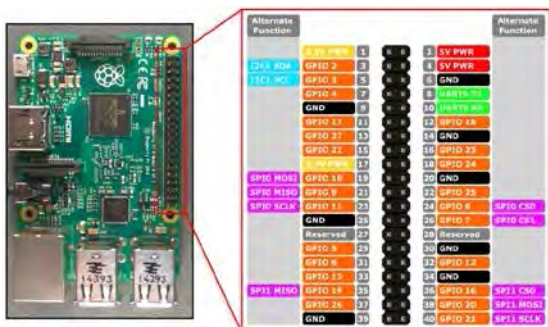


Рис. 4. RaspberryPi3

Схема (рис. 5) була зібрана в такий спосіб.

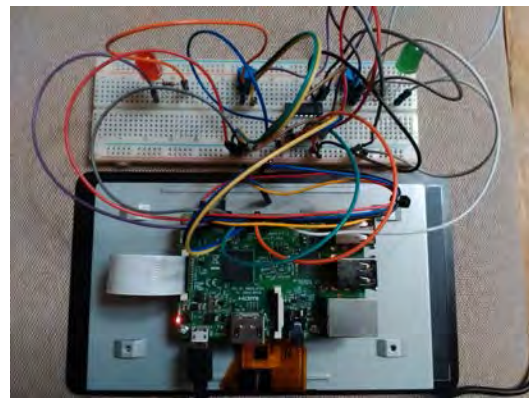


Рис. 5. Схема з'єднання елементів IoT

Мікросхема MCP3008 була підключена так:  
MCP3008: VDD – 3.3V на Raspberry Pi 3;  
MCP3008: VREF – 3.3V на Raspberry Pi 3;  
MCP3008: AGND – GND на Raspberry Pi 3;  
MCP3008: CLK – «SPI0 SCLK» на Raspberry Pi 3;  
MCP3008: Dout – «SPI0 MISO» на Raspberry Pi 3;  
MCP3008: Din – «SPI0 MOSI» на Raspberry Pi 3;  
MCP3008: CS/SHDN – «SPI0 CS0» на RaspberryPi 3;  
MCP3008: DGND – GND на Raspberry Pi 3;  
MCP3008: CH0 – повзунок нульового потенціометра;  
MCP3008: CH1 – повзунок першого потенціометра.

Червоний, зелений і синій світлодіоди були підключені до контактів з 4 до 6. Відповідно змінні були записані у файл MainPage.xaml.cs рішення Microsoft Visual Studio.

## 2.2. Запуск запропонованого проекту IoT

Три часткові проекти: індикатор, що блимає; IoT веб-браузер; і потенціометр були об'єднані в єдиний файл проекту (головна сторінка C#) рішення Microsoft Visual Studio 2015. Мікросхеми MCP3008 і ARM для цільової архітектури були обрані в запропонованому проекті.

Мінливі цифри на екрані показують напругу, що змінюється.

Величина напруги пропорційна величині опору в цій схемі. Загалом ця напруга може бути використана в різних ZigBee пристроях.

Коли напруга більша, ніж половина діапазону аналого-цифрового перетворювача, світлодіод включений. Діапазон дорівнює 1024 для мікросхеми MCP3008. В іншому випадку, світлодіод гасне.

## 2.3. “Багато-до-багатьох” інтерфейс

Багато-до-багатьох інтерфейс має дві сторони: сторону сервера або шлюзу та сторону додатків або інфраструктури. IoT пристрій було підключено на стороні додатків, Microsoft Azure був підключений на стороні сервера. В пристрої IoT застосовано рішення, що складається з трьох проектів: управління LED; IoT браузер; потенціометричний датчик. Датчик вимірює вісім опорів у

зіркоподібній топології. Події збираються на додатку Hub, потік подій аналітично обробляється відповідно налаштованим екземпляром IoT Hub на Microsoft Azure. Браузер IoT обробляє запит датчиків та повертає відповідь на сторону сервера, використовуючи функцію зворотного виклику, коли вона була надана (рис. 6).

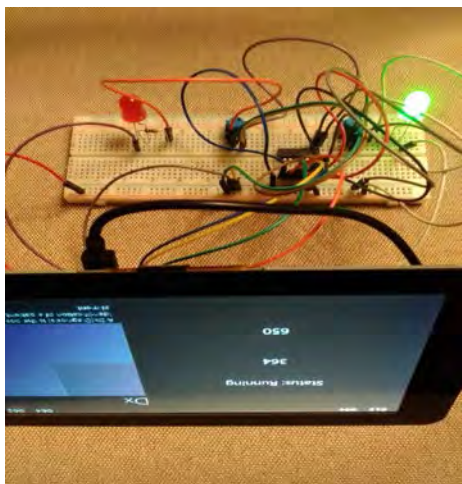


Рис. 6. Відображення результатів виміру

## Висновки

Аналіз можливостей альтернативного підходу на прикладі застосування мови Python як універсальної для різних операційних систем IoT показав таке. Експериментальні результати свідчать про ефективність і стабільність роботи системи із застосуванням IoT на стороні додатків та дата-центру обробки даних Microsoft Azure – на стороні сервера.

## Література:

- [1] The zigbee alliance: Foundation and Future of the IoT [Online] Available: <http://www.zigbee.org/the-zigbee-alliance-foundation-and-future-of-the-iot-by-john-e-osborne-ii-chairman-of-the-board/>
- [2] Zigbee Writes a Universal Language for IoT [Online] Available: <https://www.sdxcentral.com/articles/news/zigbee-writes-universal-language-iot/2017/01/>

[3] STANDARDS: ZIGBEE CLUSTER LIBRARY [Online] Available:

<http://www.zigbee.org/download/standards-zigbee-cluster-library/>

[4] IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks. Sponsored by the LAN/MAN Standards Committee. IEEE Std 802.15.4™-2015. P. 510 [Online] Available: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2015.pdf>

[5] Calabrese G. Symmetrical components applied to electric power networks. New York, Ronald Press co., 1959, 31-32.

[6] MS IoT samples [Online]. Available: <https://github.com/ms-iot/samples/archive/develop.zip>

Надійшла до редколегії 12.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Бараннік В.В.

**Безрук Валерій Михайлович**, д-р техн. наук, академік академії зв'язку України, професор, завідуючий кафедрою «Інформаційно-мережева інженерія» ХНУРЕ. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14. E-mail: [valeriy\\_bezruk@ukr.net](mailto:valeriy_bezruk@ukr.net)

**Власова Вікторія Олександрівна**, канд. техн. наук, старший викладач кафедри «Інформаційно-мережева інженерія» ХНУРЕ. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14. E-mail: [zlata\\_ne@bk.ru](mailto:zlata_ne@bk.ru)

**Кривенко Станіслав Анатолійович**, канд. техн. наук, доцент кафедри «Інформаційно-мережева інженерія» ХНУРЕ. Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14. E-mail: [Stanislav.Kryvenko@nure.ua](mailto:Stanislav.Kryvenko@nure.ua)

**Bezruk Valeriy**, Doctor of Technical Sciences, professor, academician of the Ukrainian Academy of Telecommunications, Professor, Head of the Department of Information and network engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics. Address: 14 Nauki ave, Kharkiv, Ukraine, 61166. E-mail: [valeriy\\_bezruk@ukr.net](mailto:valeriy_bezruk@ukr.net)

**Vlasova Viktoriya**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer Department of Information and network engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics. Address: 14 Nauki ave., Kharkiv, Ukraine, 61166. E-mail: [zlata\\_ne@bk.ru](mailto:zlata_ne@bk.ru)

**Krivenko Stanislav**, Candidate of technical sciences, associate professor of the Information and network-engineering department, Kharkov National University of Radioelectronics. Address: 14 Nauki ave, Kharkiv, Ukraine, 61166. E-mail: [Stanislav.Kryvenko@nure.ua](mailto:Stanislav.Kryvenko@nure.ua)



## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЖАТИЯ С ПОТЕРЯМИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ШУМОМ

*ЗЕМЛЯЧЕНКО А.Н., АБРАМОВ С.К., ЛУКИН В.В.*

Рассматриваются особенности сжатия с потерями изображений, на которых присутствует шум. Анализ проводится для кодера AGU, основанного на ДКП. Показывается, что имеется возможность прогнозировать пиковое отношение сигнал-шум и улучшение или ухудшение метрики визуального качества при разных параметрах сжатия (значениях шага квантования). Также можно прогнозировать коэффициент сжатия. Наличие этих возможностей позволяет выбрать параметры сжатия с учетом приоритета требований.

**Ключевые слова:** показатели качества, сжатие с потерями, изображение с шумом, прогнозирование.

**Key words:** quality indicators, lossy compression, noisy image, prediction.

### Введение

Сжатие изображения в настоящее время является одной из основных операций обработки данных для мультимедийных приложений, дистанционного зондирования, охранных и медицинских диагностических систем [1, 2]. В литературных источниках, посвященных сжатию изображений, чаще всего полагают, что качество исходного изображения, подвергаемого сжатию, идеально или достаточно высоко, т.е. шум в нем отсутствует или, по крайней мере, человеческий глаз его не замечает. Тогда все искажения, вносимые методами сжатия с потерями, полагаются вредными и для описания сжатия используют кривую искажения-коэффициент сжатия (rate distortion curve) или ее модификации, где параметр (метрика, количественный критерий), описывающий искажения (потери), рассчитывается между сжатым и исходным изображениями.

Однако на самом деле во всех изображениях, независимо от их типа и условий получения, присутствует шум, который может быть разного вида и интенсивности. Есть приложения или условия, для которых шум практически незаметен, например, для оптических изображений, полученных в условиях хорошей освещенности. Для других приложений, например, для радиолокационных изображений, шум всегда виден [3] и его присутствие ограничивает возможности и эффективность решения задач вторичной обработки (обнаружения и локализации объектов [4], классификации [5]). В связи с этим шум, присутствующий на изображении, часто необходимо учитывать при разработке методов сжатия таких изображений и выборе параметров сжатия [6].

Первыми обратили внимание на эти моменты авторы работы [6]. Они показали, что сжатие с поте-

рями изображений с шумом приводит, в целом, к позитивному эффекту частичного подавления помех – своеобразной фильтрации. Кроме того, они продемонстрировали возможное наличие оптимальной рабочей точки (ОРТ) – таких параметров сжатия с потерями, что сжатое изображение оказывается более близким к истинному изображению (изображению без помех), чем исходное (первичное) изображение, подвергаемое сжатию, в соответствии с некоторой метрикой, например, среднеквадратическая ошибка (СКОш) или пиковое отношение сигнал-шум (ПОСШ) [6, 7].

С одной стороны, анализ метрик, рассчитываемых между сжатым и истинным изображениями, и их зависимостей от параметров сжатия возможен лишь при наличии истинного изображения, т.е. при проведении численного моделирования, когда пользователь имеет «чистое» (истинное) изображение, сам добавляет к нему помехи и выполняет компрессию. Поэтому может создаться впечатление, что сжатие в ОРТ (если ОРТ для данной ситуации существует) на практике невозможно в связи с отсутствием истинного изображения. Однако проведенные в последние годы исследования показали [7-9], что возможно сжатие с потерями в окрестности ОРТ при отсутствии истинного изображения путем либо применения итеративной обработки [8], либо выбора параметров кодера [9] с учетом характеристик помех, полагаемых априорно известными или оцененными с приемлемой точностью [10].

Поскольку ОРТ наблюдается не всегда (может отсутствовать), то желательно принимать решение, с какими параметрами осуществлять сжатие таким образом, чтобы обеспечить приемлемое качество и коэффициент сжатия (КС) или, по крайней мере, найти приемлемый компромисс между ними. Тогда желательно уметь прогнозировать параметры сжатия (некоторые точки кривой, описывающей значение метрики между истинным и сжатым изображением в зависимости от параметра, управляющего сжатием). В работе [11] нами было показано, что можно прогнозировать значения ПОСШ (или его отличия от ПОСШ для несжатого изображения) для окрестности ОРТ. Кроме того, в работе [12] было показано, что можно прогнозировать и значения КС.

В связи с этим, основная цель данного исследования – проверить, применима ли предложенная в работах [11, 12] методика для прогнозирования параметров сжатия, если оно выполняется не в окрестности ОРТ. Желательно также сформулировать подходы к принятию решений.

## 1. Особенности сжатия изображений с шумом

Сначала поясним, как можно описать сжатие с потерями изображений, на которых присутствует шум. Для этого воспользуемся простейшей моделью помех, предположив, что шум является аддитивным, белым и гауссовым, то есть  $I_{ij}^n = I_{ij}^{true} + n_{ij}$ , где  $I_{ij}^{true}$  – истинное значение изображения в  $ij$ -м пикселе,  $n_{ij}$  – аддитивный шум с нулевым средним и дисперсией  $\sigma^2$  в этом же отсчете,  $i = 1, \dots, N_1, j = 1, \dots, N_2, N_1 N_2$  – общее количество пикселей.

После сжатия  $I_{ij}^n, i = 1, \dots, N_1, j = 1, \dots, N_2$  с потерями имеем  $I_{ij}^c, i = 1, \dots, N_1, j = 1, \dots, N_2$ , которое отличается и от  $I_{ij}^{true}, i = 1, \dots, N_1, j = 1, \dots, N_2$ , и от  $I_{ij}^n, i = 1, \dots, N_1, j = 1, \dots, N_2$ .

Тогда некоторую метрику можно вычислить между любыми парами изображений, а на практике только между

$$I_{ij}^c, i = 1, \dots, N_1, j = 1, \dots, N_2 \text{ и } I_{ij}^n, i = 1, \dots, N_1, j = 1, \dots, N_2.$$

При этом по мере увеличения КС (уменьшения  $brp=8/KC$  при стандартном восьмибитном представлении одноканальных изображений в градациях серого) значения метрики ухудшаются. Например, значения среднеквадратической ошибки

$$MSE_{nc} = \frac{1}{N_1 N_2 - 1} \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} (I_{ij}^n - I_{ij}^c)^2 \text{ возрастают, а}$$

ПОСШ  $PSNR_{nc} = 10 \lg(255^2 / MSE_{nc})$  уменьшается.

А метрики, рассчитанные для сжатого и истинного изображений, могут вести себя своеобразно, имея глобальные минимумы или максимумы. В качестве примера на рис. 1 приведены зависимости  $PSNR_{ct}(QS)$  для кодера AGU [13], основанного на ДКП, выполняемого в блоках  $32 \times 32$  пикселя, современных методах кодирования квантованных ДКП-коэффициентов и деблокинге после декомпрессии. Кодер управляется шагом квантования (ШК,  $QS$  – quantization step). Тестовое изображение Frisco имеет довольно простую структуру (много однородных участков большой площади), а изображения Aerial и Airfield – средней и примерно одинаковой сложности.

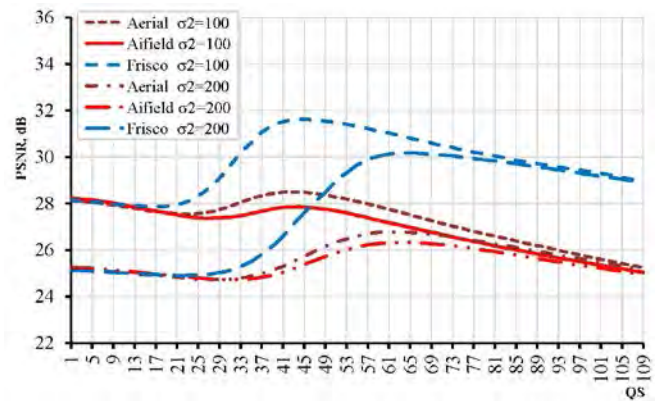


Рис. 1. Зависимость ПОСШ от ШК (QS) для трех тестовых изображений при двух значениях дисперсии

Анализ зависимостей показывает, что при малых значениях ШК имеет место тенденция к медленному уменьшению значений  $PSNR_{ct}$ , которые при  $QS \approx 2\sigma$  немного меньше, чем  $PSNR_{nc}(QS \rightarrow 0) = PSNR_{true}$ . При дальнейшем возрастании ШК возможны различные варианты поведения  $PSNR_{ct}(QS)$ :

- 1) зависимость имеет явно выраженный глобальный максимум, соответствующий ОПТ, где  $PSNR_{ct}(QS_{OPT}) > PSNR_{ct}(QS \rightarrow 0)$ ;
- 2) зависимость имеет локальный максимум, в котором  $PSNR_{ct}(QS_{локмакс}) \leq PSNR_{ct}(QS \rightarrow 0)$ ;
- 3) зависимость продолжает монотонно убывать (на рис. 1 такой пример отсутствует).

Ситуация 1, т.е. наличие ОПТ, наблюдается для достаточно простых по структуре изображений и/или при высоком уровне помех. Очевидно, что в таком случае имеет смысл выполнять сжатие в окрестности ОПТ. Причина, по которой речь идет об окрестности ОПТ, а не о самой ОПТ, такова. Как уже отмечалось, зависимость  $PSNR_{ct}(QS)$  можно получить только при моделировании, но не на практике. Для практики разработаны «инженерные» рекомендации по выбору ШК. Анализ зависимостей на рис. 1 показывает, что  $QS_{OPT}$  примерно равен  $4\sigma$ , т.е. при известной (точно оцененной) СКО помех можно попасть в окрестность ОПТ (для каждой конкретной зависимости  $QS_{OPT}$  может быть как больше, так и меньше  $4\sigma$ ).

В ситуации 2 (характерной для достаточно сложных изображений при помехах среднего уровня)  $QS_{локмакс} \approx 4\sigma \approx QS_{OPT}$  и сжатие в окрестности  $QS_{локмакс}$  также может иметь смысл, если только  $PSNR_{ct}(QS_{локмакс})$  не намного меньше, чем  $PSNR_{ct}(QS \rightarrow 0)$  (в противном случае может быть

полезным использовать  $QS \approx \sigma$ , чтобы сжатие не привело к резкому ухудшению качества изображения).

Наконец, в ситуации 3 (имеющей место для изображений сложной структуры и/или при невысоком уровне помех) явно нет смысла сжимать изображение с  $QS \approx 4\sigma$ , поскольку это может привести к существенному ухудшению качества. Более разумным решением может быть сжатие с  $QS \approx 2\sigma$  или даже с  $QS \approx \sigma$ .

Приведенные выше рассуждения правомерны, если не накладываются ограничения на минимальное значение КС, которое нужно обеспечить. В противном случае принятие решения становится еще более сложной задачей. Однако в любом случае видно, что предсказанные зависимости  $PSNR_{ct}(QS)$ ,  $CR(QS)$  и, в итоге,  $PSNR_{ct}(CR)$  смогли бы помочь в принятии обоснованных решений (естественно, при условии, что предсказание является достаточно точным).

## 2. Анализ результатов сжатия изображений с шумом

Поскольку результаты для тестовых изображений Aerial и Airfield очень близки (см. рис. 1), в дальнейшем вместо Airfield будем использовать известное тестовое изображение Baboon, которое является примером изображения со сложной структурой (текстурного изображения). Поскольку нас будут интересовать различные уровни помех, то будем рассматривать восемь значений дисперсии помех: 0,25, 1 и 4 (первые два соответствуют крайне низкому уровню помех, все три соответствуют визуально незаметным помехам, т.е. практическим ситуациям, которые наиболее часто рассматриваются в теории сжатия изображений с потерями), 25 и 100 (соответствуют характерным для практики уровням помех, когда помехи на изображениях видны, по крайней мере, на однородных участках), 225, 400 и 900 (соответствуют интенсивным помехам или отношениям сигнал-шум, когда исходные изображения имеют низкое качество). Поскольку для этих ситуаций  $PSNR_{ntue} = 10\lg(255^2 / \sigma^2)$  лежит в очень широком диапазоне значений (от 54 до 19 дБ), то будем анализировать не зависимости  $PSNR_{ct}(QS)$ , а  $\Delta PSNR(QS) = PSNR_{ct}(QS) - PSNR_{ntue}$ , причем положительные значения  $\Delta PSNR(QS)$  свидетельствуют о том, что качество изображения вследствие сжатия с потерями в соответствии с метрикой  $PSNR_{ct}$  улучшилось, и наоборот.

Кроме того, будем анализировать  $\Delta PHVS(QS) = PSNR-HVS-M_{ct}(QS) - PSNR-HVS-M_{ntue}$ , где

$$PSNR-HVS-M_{ct} = 10\lg\left(255^2 / MSE_{HVSct}\right), \quad MSE_{HVSct}$$

– среднеквадратическая ошибка, вычисленная с учетом особенностей зрения человека [14], а  $PSNR-HVS-M_{ntue}$  – значение метрики  $PSNR-HVS-M$  для зашумленного изображения относительно истинного [14]. Метрика  $PSNR-HVS-M$  учитывает два важных аспекта зрения человека – разную чувствительность к искажениям для низких и высоких пространственных частот, а также эффекты маскирования (меньшей заметности искажений для текстур).

Данные моделирования представлены в табл. 1. Наряду с указанными выше значениями метрик приведены значения  $КС(CR)$ , а также параметров  $P_{2\sigma}$  и  $P_{2,7\sigma}$ . Эти параметры использованы при прогнозировании  $\Delta PSNR$  и  $\Delta PHVS$  в ОПТ [11], а также при прогнозировании  $КС$  [12]. Оба определяются для группы блоков размером 8x8 пикселей, где число блоков должно быть, как минимум, равно 300 для обеспечения приемлемо малого негативного влияния на точность прогнозирования.  $P_{2\sigma}$  – вероятность того, что амплитуда ДКП-коэффициентов в блоках не превысит  $2\sigma$ , а  $P_{2,7\sigma}$  – вероятность того, что амплитуда ДКП-коэффициентов в блоках превысит  $2,7\sigma$  (коэффициент, отвечающий за среднее в блоках, при расчетах не учитывается). Тогда значения  $P_{2\sigma}$  малы (а значения  $P_{2,7\sigma}$  велики) для малых значений дисперсии помех и/или изображений со сложной структурой (теоретически обе вероятности могут изменяться практически от нуля до почти единицы).

Данные в таблице 1 приведены для трех значений ШК:  $QS = 2\sigma$ ,  $QS = 3,5\sigma$  и  $QS = 5\sigma$ , т.е. для ШК, который меньше  $QS_{OPT}$ , примерно равен  $QS_{OPT}$  и больше  $QS_{OPT}$ , если ОПТ существует. Таким образом, можно выявить основные тенденции, которые заключаются в следующем:

- 1) по мере увеличения дисперсии помех при заданном ШК (например,  $QS = 2\sigma$ )  $P_{2\sigma}$  возрастает, а  $P_{2,7\sigma}$  уменьшается;
- 2) с увеличением дисперсии помех при ШК, пропорциональном СКО, также наблюдается рост  $КС$ , который варьируется в очень широких пределах – от 1,35 для тестового изображения Baboon при  $\sigma^2 = 0,2, QS = 2\sigma$  до 142 для тестового изображения Frisco при  $\sigma^2 = 900, QS = 5\sigma$ ;
- 3) при фиксированных СКО и ШК наблюдается явная зависимость достигаемого  $КС$  от степени



сложности изображения; например, при  $CKO=10$  и  $ШК=35$  КС равен 5,69 для изображения Baboon и 11,55 – для изображения Frisco;

4) в зависимости от дисперсии помех при  $QS = 2\sigma$   $\Delta PSNR$  изменяется от -1,4 дБ (при малых дисперсиях помех) до 0,05 дБ (при больших дисперсиях помех для изображений с простой структурой);

5) при  $QS = 3,5\sigma$   $\Delta PSNR$  изменяется от -3,1 дБ (при малых дисперсиях помех) до 6,1 дБ (при больших дисперсиях помех для изображений с простой структурой), т.е. пределы возможного изменения очень широкие и важность прогнозирования этих значений велика;

6) при  $QS = 5\sigma$   $\Delta PSNR$  лежит в пределах от -4,7 дБ (при малых дисперсиях помех) до 9,0 дБ (при больших дисперсиях помех для изображений с простой структурой); таким образом, пределы возможного изменения еще более широки и важность прогнозирования этих значений также велика;

7) в зависимости от дисперсии помех при  $QS = 2\sigma$   $\Delta PHVS$  изменяется от -1,9 дБ (при малых дисперсиях помех) до -0,2 дБ (при больших дисперсиях помех для изображений с простой структурой), т.е. в любом случае визуальное качество ухудшается, но не слишком существенно;

8) при  $QS = 3,5\sigma$   $\Delta PHVS$  изменяется от -4,4 дБ (при малых дисперсиях помех) до 3,2 дБ (при больших дисперсиях помех для изображений с простой структурой), т.е. пределы возможного изменения широкие и велика важность прогнозирования этих значений;

9) при  $QS = 5\sigma$   $\Delta PHVS$  лежит в пределах от -6,9 дБ (при малых дисперсиях помех для изображений со сложной структурой) до 4,0 дБ (при больших дисперсиях помех для изображений с простой структурой); следовательно, велика важность прогнозирования значений  $\Delta PHVS$ ;

10) высока корреляция между значениями параметров, которые нужно предсказывать, и значениями параметров  $P_{2\sigma}$  и  $P_{2,7\sigma}$  – чем больше  $P_{2\sigma}$  и меньше  $P_{2,7\sigma}$ , тем больше  $\Delta PHVS$  и  $\Delta PSNR$ .

Результаты могут быть представлены и в другом виде (табл. 2-4), который более наглядно показывает возможные ситуации. Результаты приведены для четырех значений  $P_{2\sigma}$ , которые соответствуют разным практическим ситуациям (степени сложности изображения и уровню помех). Значения  $\Delta PSNR$  и  $\Delta PHVS$  усреднены по нескольким изображениям. Приведены также значения  $PSNR_{nt}$ , дБ

и исходное  $PSNR-HVS-M$ , дБ, что облегчает анализ.

Здесь необходимо отметить следующее [15]. Значения  $PSNR_{nt}$  выше 37 дБ говорят о том, что помехи или искажения практически незаметны. О том же говорят значения  $PSNR-HVS-M$  выше 40 дБ. Значения  $PSNR_{nt}$  выше 30 дБ и значения  $PSNR-HVS-M$  выше 33 дБ говорят о том, что качество изображений достаточно высокое, но искажения заметны. Наконец, значения  $PSNR_{nt}$  порядка 23 дБ и значения  $PSNR-HVS-M$  порядка 27 дБ свидетельствуют о весьма низком качестве изображений.  $\Delta PHVS$  больше 1 дБ говорит о заметном на взгляд улучшении визуального качества, а меньше – 1 дБ – о заметном ухудшении.

Учитывая сказанное выше, рассмотрим результаты в табл. 2-4. При  $QS=2\sigma$  и  $P_{2\sigma} \leq 0,5$  (табл. 2) искажения вследствие сжатия с потерями весьма малы и практически незаметны в связи с высоким качеством исходных изображений. При  $P_{2\sigma} > 0,5$  качество изображений при сжатии не улучшается, но и ухудшения практически незаметны. Следовательно,  $QS=2\sigma$  можно использовать практически в любой ситуации без существенной потери качества. Другой вопрос – какой КС при этом будет обеспечен?

При  $QS=3,5\sigma$  и  $P_{2\sigma} \approx 0,3$  (табл. 3) внесенные искажения незаметны, поскольку высоко качество исходных изображений (невысок уровень помех или высоки маскирующие свойства текстуры). При  $P_{2\sigma} \approx 0,5$  искажения вследствие сжатия с потерями могут быть заметны, но они невелики. Более сложная ситуация имеет место, если  $P_{2\sigma} \approx 0,7$  – качество исходных изображений невысоко, а сжатие может их заметно ухудшить. В таких ситуациях имеет смысл использовать меньшее значение ШК, например,  $QS=2\sigma$ . Наконец, при  $P_{2\sigma} \approx 0,9$ , очевидно, имеет смысл сжимать изображение с  $QS=3,5\sigma$  или, возможно, даже несколькими большими значениями ШК.

При  $QS=5\sigma$  и  $P_{2\sigma} \approx 0,3$  (табл. 4) внесенные потери «не страшны», поскольку они визуально незаметны. Гораздо хуже ситуация, если  $P_{2\sigma} \approx 0,5$  – внесенные искажения заметны и достаточно велики. Применение  $QS=5\sigma$  представляется нецелесообразным – желательно использовать меньшее значение ШК. Аналогична ситуация имеет место при  $P_{2\sigma} \approx 0,7$ . И лишь при  $P_{2\sigma} \approx 0,9$  качество сжатого изображения практически не хуже, чем исходного.

Таблица 1. Результаты моделирования

Image	$\sigma^2$	0,25	1	4	25	100	225	400	900	
Baboon	$P_{2\sigma}$	0,08	0,17	0,3	0,54	0,71	0,79	0,84	0,89	
	$P_{2,7\sigma}$	0,89	0,78	0,62	0,35	0,19	0,12	0,08	0,04	
	QS = 2 $\sigma$									
	QS	1	2	4	10	20	30	40	60	
	CR	1,35	1,63	2,02	2,83	3,71	4,29	4,71	5,27	
	$\Delta$ PSNR	-0,99	-1,39	-1,25	-1,04	-0,77	-0,60	-0,45	-0,27	
	$\Delta$ PHVS	-1,09	-1,80	-1,75	-1,64	-1,39	-1,11	-1,00	-0,76	
	QS = 3,5 $\sigma$									
	QS	1,75	3,5	7	17,5	35	52,5	70	105	
	CR	1,57	1,94	2,52	3,86	5,69	7,29	8,76	11,67	
	$\Delta$ PSNR	-3,04	-3,01	-2,88	-2,21	-1,05	-0,04	0,8	2,18	
	$\Delta$ PHVS	-3,43	-4,04	-4,21	-3,92	-3,03	-2,23	-1,67	-0,58	
	QS = 5 $\sigma$									
	QS	2,5	5	10	25	50	75	100	150	
	CR	1,74	2,21	2,98	5,09	9,1	14,11	20,1	36,4	
	$\Delta$ PSNR	-4,53	-4,7	-4,48	-3,24	-1,41	0,06	1,3	3,19	
	$\Delta$ PHVS	-5,22	-6,55	-6,85	-5,98	-4,56	-3,41	-2,46	-0,98	
	Aerial	$P_{2\sigma}$	0,18	0,3	0,45	0,66	0,78	0,84	0,87	0,91
$P_{2,7\sigma}$		0,77	0,63	0,46	0,25	0,14	0,09	0,06	0,04	
QS = 2 $\sigma$										
QS		1	2	4	10	20	30	40	60	
CR		1,48	1,81	2,27	3,19	4,08	4,62	5	5,55	
$\Delta$ PSNR		-0,99	-1,35	-1,11	-0,81	-0,56	-0,39	-0,26	-0,04	
$\Delta$ PHVS		-1,09	-1,87	-1,62	-1,39	-1,17	-1	-0,86	-0,65	
QS = 3,5 $\sigma$										
QS		1,75	3,5	7	17,5	35	52,5	70	105	
CR		1,74	2,2	2,92	4,54	6,72	8,56	10,32	14,22	
$\Delta$ PSNR		-2,97	-2,79	-2,43	-1,38	0,06	1,2	2,01	3,41	
$\Delta$ PHVS		-3,77	-3,8	-3,93	-3,39	-2,61	-1,95	-1,45	-0,61	
QS = 5 $\sigma$										
QS		2,5	5	10	25	50	75	100	150	
CR		1,96	2,55	3,55	6,42	11,87	18,15	25,56	43,39	
$\Delta$ PSNR		-4,4	-4,3	-3,69	-1,96	0,21	1,72	2,82	4,4	
$\Delta$ PHVS		-5,64	-6,09	-6,2	-5,26	-3,99	-3,01	-2,23	-1,17	
Frisco		$P_{2\sigma}$	0,24	0,43	0,63	0,81	0,89	0,91	0,93	0,94
	$P_{2,7\sigma}$	0,68	0,46	0,26	0,11	0,05	0,03	0,02	0,01	
	QS = 2 $\sigma$									
	QS	1	2	4	10	20	30	40	60	
	CR	1,85	2,36	3,08	4,28	5,14	5,57	5,79	6,06	
	$\Delta$ PSNR	-0,97	-1,33	-1	-0,53	-0,25	-0,12	-0,06	0,04	
	$\Delta$ PHVS	-1,4	-1,88	-1,32	-0,74	-0,47	-0,38	-0,29	-0,19	
	QS = 3,5 $\sigma$									
	QS	1,75	3,5	7	17,5	35	52,5	70	105	
	CR	2,27	3,05	4,31	7,43	11,55	14,74	17,37	22,83	
	$\Delta$ PSNR	-2,98	-2,76	-1,95	0,41	2,43	3,67	4,61	6,05	
	$\Delta$ PHVS	-4,42	-3,86	-2,73	-0,57	0,81	1,54	2,21	3,21	
	QS = 5 $\sigma$									
	QS	2,5	5	10	25	50	75	100	150	
	CR	2,64	3,72	6,06	14,46	30,99	51,78	78,67	142,08	
	$\Delta$ PSNR	-4,41	-4,1	-2,59	0,51	3,41	5,28	6,77	8,98	
	$\Delta$ PHVS	-6,47	-5,64	-3,82	-1,16	0,56	1,55	2,17	2,95	

Таблица 2. Данные для  $QS=2\sigma$ 

$P_{2\sigma}$	Описание ситуации	PSNR <sub>nt</sub> , дБ	$\Delta$ PSNR, дБ	ИсхPSNR-HVS-M, дБ	$\Delta$ PHVS, дБ
0,3	Средняя/высокая сложность Шум низкой интенсивности	>45	-1,2	>50	-1,7
0,5	Средняя/высокая сложность Шум средней интенсивности	≈38	-1,1	≈42	-1,7
0,7	Средняя/низкая сложность Шум средней интенсивности	≈30	-0,7	≈33	-1,3
0,9	Низкая сложность Шум высокой интенсивности	≈23	-0,2	≈27	-0,6

Таблица 3. Данные для  $QS=3,5\sigma$ 

$P_{2\sigma}$	Описание ситуации	PSNR <sub>nt</sub> , дБ	$\Delta$ PSNR, дБ	ИсхPSNR-HVS-M, дБ	$\Delta$ PHVS, дБ
0,3	Средняя/высокая сложность Шум низкой интенсивности	>45	-2,9	>50	-4,0
0,5	Средняя/высокая сложность Шум средней интенсивности	≈38	-2,5	≈42	-3,8
0,7	Средняя/низкая сложность Шум средней интенсивности	≈30	-1,5	≈33	-3,1
0,9	Низкая сложность Шум высокой интенсивности	≈23	+4,0	≈27	0

Таблица 4. Данные для  $QS=5\sigma$ 

$P_{2\sigma}$	Описание ситуации	PSNR <sub>nt</sub> , дБ	$\Delta$ PSNR, дБ	ИсхPSNR-HVS-M, дБ	$\Delta$ PHVS, дБ
0,3	Средняя/высокая сложность Шум низкой интенсивности	>45	-4,4	>50	-6,5
0,5	Средняя/высокая сложность Шум средней интенсивности	≈38	-3,6	≈42	-5,9
0,7	Средняя/низкая сложность Шум средней интенсивности	≈30	-1,8	≈33	-4,5
0,9	Низкая сложность Шум высокой интенсивности	≈23	+3,6	≈27	-0,2

Таким образом, можно систематизировать результаты анализа в виде некоторой системы правил (инженерных рекомендаций). Если  $P_{2\sigma} < 0,4$ , то вполне можно использовать  $QS \approx 3,5\sigma$ , обеспечивая незаметность внесенных искажений и достаточно большие значения КС (за исключением изображений со сложной структурой и низких уровней помех). Если  $0,4 \leq P_{2\sigma} < 0,8$ , то имеет смысл использовать  $QS \approx 2\sigma$ , обеспечивая практическую незаметность внесенных искажений. Наконец, при  $P_{2\sigma} \geq 0,8$  становится целесообразным выполнять сжатие в окрестности ОРТ, т.е. использовать  $QS \approx 4\sigma$ .

### 3. Прогнозирование параметров сжатия

Методика получения зависимостей для прогнозирования описана в ряде работ [11, 12]. Она заключается в получении скаттерограммы искомого параметра сжатия от входного параметра (в данном случае от  $P_{2\sigma}$ ). Для получения скаттерограммы бе-

рут большое количество тестовых изображений, добавляют к ним шум с известной дисперсией и сжимают с заданным параметром ( $QS=2\sigma$  для случая, показанного на рис. 2). Каждая точка скаттерограммы представляет собой результат обработки одного тестового изображения с шумом заданной интенсивности, где по вертикали откладывается выходной (прогнозируемый) параметр ( $\Delta$ PSNR на рис. 2), а по горизонтальной оси – входной параметр. Затем применяется регрессия данных, где для случая на рис. 2 использован полином пятой степени. Качество регрессии (вписывания кривой) можно характеризовать разными количественными критериями. Одним из основных является  $R^2$  [16]. Если его значение близко к единице (0,957 для рассматриваемого примера), то это одновременно говорит как о хорошем вписывании, так и о высокой точности прогнозирования на основе вписыва-

ния (выполняемого предварительно). На практике аппроксимирующая зависимость (уравнение вписанной кривой) заранее известна и само прогнозирование осуществляется следующим образом. Для изображения, которое предполагается сжимать с заданным ШК, рассчитывают входной параметр ( $P_{2\sigma}$ ), подставляют его в формулу кривой как аргумент и получают прогнозируемое значение. Естественно, что оно отличается от того значения, которое будет получено для конкретного изображения, но эти отличия невелики (см. данные на рис. 2, СКО ошибок прогнозирования – порядка 0,1 дБ). Результаты на рис. 2 подтверждают выводы, сделанные ранее на основе анализа данных в табл. 2.

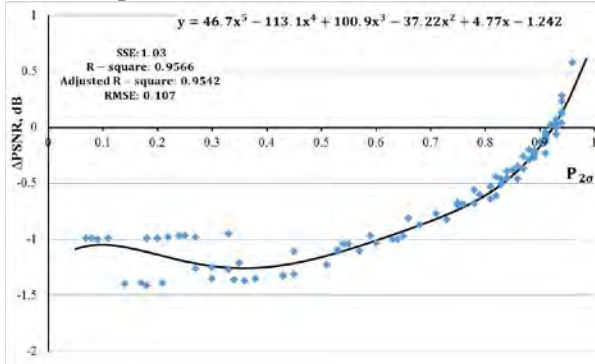


Рис. 2. Скаттерграмма и результат регрессии, QS=2σ

Учитывая, что двумерное ДКП в блоках размером 8x8 пикселей выполняется очень быстро, а количество блоков, в которых необходимо выполнять обработку для оценки  $P_{2\sigma}$ , невелико, то получение прогноза  $\Delta PSNR$  выполняется очень быстро. Аналогично быстро можно оценить и КС [12]. Один из возможных вариантов иллюстрируется рис. 3, хотя есть и другие, более точные подходы к прогнозированию. Данные на рис. 3 хорошо согласуются с данными в табл. 1. В частности, при  $P_{2\sigma}$  порядка 0,5 значения КС при QS=3.5σ немного превышают 3, что хорошо совпадает со значением, предсказываемым по вписанной кривой.

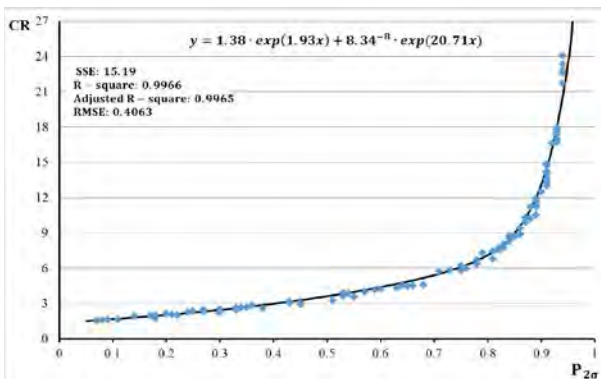


Рис. 3. Скаттерграмма и результат регрессии, QS=3.5σ

Приведенная на рис. 3 скаттерграмма и результат вписывания показывают, что результаты прогнозирования КС можно анализировать одновременно с результатами прогнозирования  $\Delta PSNR$  и  $\Delta PHVS$ . Представим, что первоочередной задачей является обеспечение приемлемого визуального качества сжатого изображения. Тогда для ШК, выбранного в соответствии с рекомендациями в разделе 2, можно определить КС и проверить, удовлетворяет ли он ограничениям, если таковые имеются. Если не удовлетворяет, то необходимо увеличивать ШК, что приведет к большим искажениям. Пример сжатия изображений с шумом с потерями приведен на рис. 4.



а



б

Рис. 4. Изображение Airfield с шумом (а) и результат его сжатия с QS=3.5σ, σ=10 (б)

## Выводы

Результаты, приведенные выше, свидетельствуют о следующем. При наличии аддитивных помех сжатие с потерями имеет особенности, заключающиеся как в наличии эффекта специфической фильтрации, так и в особенностях используемых метрик и их поведении. В частности, возможно наличие ОПТ. Анализ полученных данных указывает на то, что основные параметры, характеризующие эффективность сжатия с потерями, можно прогнозировать. Это позволяет выбирать параметры сжатия для каждого конкретного изображения. Некоторые из эмпирических правил уже сформулированы. Дальнейшие исследования позволят их уточнить.

**Література:** 1. *Blanes I., Magli E., Serra-Sagrasta J.* A Tutorial on Image Compression for Optical Space Imaging Systems // IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine. 2014. Vol 2(3). P. 8-26. 2. *Taubman D., Marcelin M.* JPEG2000 Image Compression Fundamentals, Standards and Practice. Springer, Boston: Kluwer, 2002. 777 p. 3. *Lee J.-S., Pottier E.* Polarimetric Radar Imaging: From Basics to Applications. CRC Press, 2009. 422 p. 4. *Marques R., Medeiros F., Ushizima D.* Target Detection in SAR Images Based on a Level Set Approach // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 2009. Vol. 39(2). P. 214-222. 5. *Kussul N., Lemoine G., Gallego F. J., Skakun S. V., Lavreniuk M., Shelestov A. Y.* Parcel-Based Crop Classification in Ukraine Using Landsat-8 Data and Sentinel-1A Data // IEEE J. of Select. Topics in Appl. Earth Observ. and Rem. Sens. 2016. Vol. 9(6). P. 2500–2508. 6. *Al-Chaykh O.K., Mersereau R.M.* Lossy compression of noisy images // IEEE Transactions on Image Processing. 1998, Vol. 7(12). P. 1641-1652. 7. *Zemliachenko A.N., Kozhemiakin R.A., Uss M.L., Abramov S.K., Ponomarenko N.N., Lukin V.V., Vozel B., Chehdi K.* Lossy compression of hyperspectral images based on noise parameters estimation and variance stabilizing transform // Journal of Applied Remote Sensing. 2014. Vol 8 (1). 25 p. 8. *Ponomarenko N., Lukin V., Zriakhov M., Egiazarian K.* Lossy compression of images with additive noise / Proceedings of International Conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems, Antwerpen, Belgium, 2005. P. 381-386. 9. *Ponomarenko N., Krivenko S., Lukin V., Egiazarian K., Astola J.* Lossy Compression of Noisy Images Based on Visual Quality: a Comprehensive Study // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2010. Article ID 976436. 13 p. 10. *Uss M.L., Vozel B., Lukin V., Chehdi K.* Image Informative Maps for Component-wise Estimating Parameters of Signal-Dependent Noise // Journal of Electronic Imaging, 2013. Vol. 22(1). Doi:10.1117/1.JEI.22.1.013019. 11. *Zemliachenko A., Abramov S., Lukin V., Vozel B., Chehdi K.* Lossy Compression of Noisy Remote Sensing Images with Prediction of Optimal Operation Point Existence and Parameters // SPIE Journal on Advances in Remote Sensing, 2015. Vol. 9(1). 26 p. 12. *Zemliachenko A., Kozhemiakin R., Vozel B., Lukin V.* Prediction of Compression Ratio in Los-

sy Compression of Noisy Images / Proceedings of TCSET 2016, February, 2016, Lviv-Slavske, Ukraine. P. 693-697. 13. *Ponomarenko N.N., Lukin V.V., Egiazarian K., Astola J.* DCT Based High Quality Image Compression / Proceedings of 14th Scandinavian Conference on Image Analysis, Joensuu, Finland, June, 2005. P. 1177-1185. 14. *Ponomarenko N., Silvestri F., Egiazarian K., Carli M., Astola J., Lukin V.* On between-coefficient contrast masking of DCT basis functions / CD-ROM Proceedings of VPQM, USA, 2007. 4 p. 15. *Lukin V., Ponomarenko N., Egiazarian K., Astola J.* Analysis of HVS-Metrics' Properties Using Color Image Database TID2013 / Proceedings of ACIVS, October 2015, Italy. P. 613-624. 16. *Cameron C., Windmeijer A., Frank A.G., Gramajo H., Cane D.E., Khosla C.* An R-squared measure of goodness of fit for some common non-linear regression models // Journal of Econometrics, 1997. Vol. 77(2). 16 p.

Поступила в редколлегию 10.03.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Баранник В.В.

**Земляченко Александр Николаевич**, канд. техн. наук, ассистент кафедры приема, передачи и обработки сигналов, Национальный аэрокосмический университет им. М.Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт". Научные интересы: сжатие изображений. Адрес: ул. Чкалова, 17, Харьков, 61070, Украина. E-mail: [alex818r@mail.ru](mailto:alex818r@mail.ru)

**Абрамов Сергей Клавдиевич**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры приема, передачи и обработки сигналов, Национальный аэрокосмический университет им. М.Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт". Научные интересы: цифровая обработка сигналов и изображений. Адрес: ул. Чкалова, 17, Харьков, 61070, Украина. E-mail: [s.abramov@rtsla.khai.edu](mailto:s.abramov@rtsla.khai.edu)

**Лукин Владимир Васильевич**, докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой приема, передачи и обработки сигналов, Национальный аэрокосмический университет им. М.Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт". Научные интересы: цифровая обработка сигналов и изображений. Адрес: ул. Чкалова, 17, Харьков, 61070, Украина. E-mail: [lukin@ai.kharkov.com](mailto:lukin@ai.kharkov.com)

**Zemlyachenko Alexander**, candidate of science, lecturer, Transmitters, receivers and signal processing dept., National aerospace university. Scientific aria: image compression. Ukraine, Kharkov. [alex818r@mail.ru](mailto:alex818r@mail.ru)

**Abramov Sergey**, candidate of science, associate professor, Transmitters, receivers and signal processing dept., National aerospace university. Scientific aria: image and signal processing. Ukraine, Kharkov. [s.abramov@rtsla.khai.edu](mailto:s.abramov@rtsla.khai.edu)

**Lukin Vladimir**, doctor of science, professor, head of Transmitters, receivers and signal processing dept., National aerospace university. Scientific aria: image and signal processing. Ukraine, Kharkov. [lukin@ai.kharkov.com](mailto:lukin@ai.kharkov.com)

## МЕТОД КРИПТОКОМПРЕССИОННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДВУХКАСКАДНОГО ОБОБЩЕННОГО ПОЗИЦИОННОГО КОДИРОВАНИЯ В БАЗИСЕ ПО ВЕРХНИМ ГРАНИЦАМ

БАРАННИК В.В., СИДЧЕНКО С.А.,  
БАРАННИК Д.В.

Предлагается метод криптокомпрессионного представления изображений на основе плавающей схемы обобщенного позиционного кодирования в базисе по верхним границам с учетом двоичного признакового пространства. Метод заключается в: биномиальном кодировании двоичного представления элементов фрагмента изображения; формировании кодограмм с учетом полученных структурных особенностей кодированного фрагмента изображения на основе плавающей схемы обобщенного позиционного кодирования в базисе по верхним границам двоичного структурного пространства по количеству серий единиц.

**Ключевые слова:** криптосемантическое представление изображений; защита информации; обобщенное позиционное кодирование; плавающая схема.

**Key words:** cryptosemantic presentation of images; data protection; generalized position encoding; floating scheme.

### Введение

При обеспечении конфиденциальности изображений следует учитывать, что:

- 1) для видеoinформации кардинально меняется вопрос, связанный с ее защитой, а именно резко разделяется информационная защита на семантический и синтаксический уровень;
- 2) видеoinформация – особый источник информации, имеющий аналоговую природу и до 90 % обусловленный психофизическими особенностями ее восприятия зрительной системой;
- 3) наличие многомерных связей;
- 4) отсутствие методологически обоснованного математического аппарата позволяющего устанавливать взаимосвязи между качественной и количественной сторонами видеoinформации;
- 5) наличие значительного количества показателей оценки качества и количества видеoinформации и видеоданных.

Поэтому *актуальной научно-прикладной проблемой* является повышение категорий информационной безопасности видеoinформации, которая обрабатывается и передается с использованием беспроводных телекоммуникационных технологий в условиях реального времени.

### Анализ последних исследований и публикаций

Для решения поставленной проблемы была предложена принципиально новая технология криптокомпрессионного представления (ККП) изображений, которая одновременно обеспечи-

вает повышение оперативности доведения видеoinформации и ее защиту на основе методов семантической и синтаксической обработки изображений [1–5]. В работах [6–12] предложены методы ККП изображений на основе статической и плавающей схемы обобщенного позиционного кодирования в двумерном базисе и базисе по верхним границам. Для дополнительного сокращения избыточности и повышения криптостойкости представления кода информационной составляющей (ИС) ККП предлагается внести изменение в структурную схему построения систем ККП изображений.

*Целью исследований* является разработка метода ККП изображений на основе двухкаскадного обобщенного позиционного кодирования в базисе по верхним границам для сокращения избыточности и повышения криптостойкости видеоданных.

### Изложение основного материала

Особенностью метода является выполнение двухкаскадного обобщенного позиционного кодирования в двоичном структурном пространстве, которое заключается в: кодировании двоичного представления элементов фрагмента изображения; формировании кода с учетом структурных особенностей исходного фрагмента изображения. Рассмотрим подробнее этапы двухкаскадного обобщенного позиционного кодирования.

Исходный кадр изображения перед обработкой разбивается на сегменты  $A_\varphi$  размерностью  $m \times n$ , где  $m$  – количество строк фрагмента изображения, а  $n$  – количество столбцов. Сегмент  $A_\varphi$  представляет собой двумерный массив, содержащий элементы  $a(i, j)_\varphi$ ,  $i = \overline{1, m}$ ,  $j = \overline{1, n}$  с информацией о яркости  $\delta$ , значения которых лежат в диапазоне  $[0; 255]$ . Обычно значения сторон массива принимаются равными  $m = n$ .

На первом этапе для учета структурных особенностей исходного фрагмента изображения определяются максимальные значения  $g_i$  и  $g_j$  для каждой строки и столбца, соответственно, на основе выражений:

$$g_i = \max(a_{i, j}) + 1, j = \overline{1, n},$$

$$g_j = \max(a_{i, j}) + 1, i = \overline{1, m}.$$

Последовательности максимальных значений  $g_i$  для каждой строки и максимальных значений  $g_j$  для каждого столбца образуют вектора  $G^{(row)} = \{g_i\}$  и  $G^{(col)} = \{g_j\}$  соответственно. После этого определяется необходимость формирования структурного кода  $N$  по значениям яркости  $a(i, j)_\varphi$  и минимаксной системе оснований на



базе плавающей схемы обобщенного позиционного кодирования. Для этого предлагается ввести двоичный признак  $G_\varphi$ , который указывает на проведение дополнительного преобразования двоичного представления отдельного элемента  $a_{i,j}$  фрагмента изображения согласно функционалу:

$$G_\varphi = F_G(g_i, g_j), i = \overline{1;m}, j = \overline{1;n}.$$

При значении двоичного признака  $G_\varphi = 1$  на втором этапе будет осуществляться биномиальное кодирование двоичного представления отдельного элемента  $a_{i,j}$  фрагмента изображения.

При значении двоичного признака  $G_\varphi = 0$  второй этап проводиться не будет. В этом случае процесс формирования ИС ККП изображений в двухмерном базисе на основе плавающей схемы формируется с учетом служебных данных по оператору  $f(A; G)$ :

$$f(A; G) = N = \sum_{\tau=1}^{Q_{\text{пр}}} a_\tau V_\tau,$$

где  $\tau$  – линейная координата элемента  $a_{i,j}$ , принимающего участие в формировании кода ИС ККП;

$V_\tau$  – значение весового коэффициента, которое определяется формулой:

$$V_\tau = \begin{cases} \prod_{\xi=\tau+1}^{Q_{\text{пр}}} \min(G^{(\text{row})}(\xi - m \frac{\xi-1}{m})), & \tau < Q; \\ G^{(\text{col})}(\frac{\xi-1}{m} + 1), & \tau = Q; \\ 1, & \tau = Q, \end{cases}$$

где  $Q_{\text{пр}}$  – максимальное количество элементов, принимающих участие в формировании кода ИС ККП, которое рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{пр}} = \arg \max_Q \left( \prod_{\xi=1}^Q \min(G^{(\text{row})}(\xi - m \frac{\xi-1}{m}), G^{(\text{col})}(\frac{\xi-1}{m} + 1)) \right).$$

Здесь  $Q$  – плавающее количество элементов исходного фрагмента изображения, принимающих участие в формировании кода в двухмерном базисе на основе плавающей схемы с учетом проверки на переполнение кодового слова;

$\xi$  – линейная координата элемента  $a_{i,j}$  при сканировании столбцов фрагмента изображения сверху вниз, начиная с левого столбца.

Переход от двухмерной координаты элемента  $a_{i,j}$  к линейной  $\tau$  и  $\xi$  определяется зависимостью:

$$\xi = i + (j-1) \times m.$$

Обратное преобразование координат задается формулами:

$$i = \xi - m \left\lfloor \frac{\xi-1}{m} \right\rfloor, j = \left\lfloor \frac{\xi-1}{m} \right\rfloor + 1.$$

Более подробно процесс формирования ИС ККП изображений на основе статической и плавающей схемы обобщенного позиционного кодирования в разной системе базисов представлен в работах [6–12].

На втором этапе при значении двоичного признака  $G_\varphi = 1$  выполняется биномиальное кодирование двоичного представления отдельного элемента  $a_{i,j}$  фрагмента изображения. Для этого элемент фрагмента изображения рассматривается как одномерное плавающее структурное число. Плавающая схема формирования структурного кода подразумевает переменное количество  $v$  кодируемых разрядов  $b(a_{i,j})^{(\gamma)}$  двоичной последовательности элемента  $a_{i,j}$ .

Вычисление количества серий единиц  $\eta_{i,j}$  для  $v$  кодируемых разрядов  $b(a_{i,j})^{(\gamma)}$  двоичной последовательности элемента  $a_{i,j}$  выполняется, начиная со старшего разряда согласно следующему алгоритму:

– на нулевом шаге  $\gamma = 0$  начальные значения разряда и длины серии приравнивают нулю:  $b(a_{i,j})^{(0)} = 0, \eta_{i,j}^{(0)} = 0$ ;

– на  $\gamma$ -м шаге число серий увеличивается на 1:

$$\eta_{i,j}^{(\gamma)} = \eta_{i,j}^{(\gamma-1)} + 1, \text{ если } b(a_{i,j})^{(\gamma)} > b(a_{i,j})^{(\gamma-1)};$$

– в противном случае  $\eta_{i,j}^{(\gamma)} = \eta_{i,j}^{(\gamma-1)}$ , если  $b(a_{i,j})^{(\gamma)} \leq b(a_{i,j})^{(\gamma-1)}$ ;

– для конечного шага при  $\gamma = v$  получаем искомое значение количества серий единиц  $\eta_{i,j} = \eta_{i,j}^{(v)}$  для элемента  $a_{i,j}$ .

Формирование структурного представления  $y_{i,j}$  двоичных данных для отдельного элемента  $a_{i,j}$  задается функционалом  $f_{\text{bin}}(a_{i,j}, v, \eta_{i,j})$ :

$$y_{i,j} = f_{\text{bin}}(a_{i,j}, v, \eta_{i,j}),$$

где  $v$  – количество кодируемых разрядов отдельного элемента  $a_{i,j}$  фрагмента изображения;

$\eta_{i,j}$  – количество серий единиц отдельного элемента  $a_{i,j}$  фрагмента изображения.

Полученное структурное представление  $y_{i,j}$  характеризуется количеством  $W_{i,j}$  допустимых структурных чисел для элемента фрагмента изображения, которое определяется по формуле:

$$W_{i,j} = \frac{(v+1)!}{(2\eta_{i,j})!(v+1-2\eta_{i,j})!}.$$

Формирование структурного представления  $u_{i,j}$  двоичных данных для отдельного элемента  $a_{i,j}$  фрагмента изображения производятся по формуле:

$$u_{i,j} = \sum_{\gamma=1}^v b(a_{i,j})^{(\gamma)} \times p_{i,j}^{(\gamma)}, \quad (1)$$

где  $b(a_{i,j})^{(\gamma)}$  – значение  $\gamma$ -го разряда элемента  $a_{i,j}$ ;  $p_{i,j}^{(\gamma)}$  – весовой коэффициент отдельного элемента  $a_{i,j}$  фрагмента изображения, зависящий от значений  $\gamma$  и  $\eta_{i,j}$ .

Расчет весовых коэффициентов проводится на основе рекуррентных выражений [13], позволяющих вычислить значение весового коэффициента  $p_{i,j}^{(\gamma)}$  разряда  $b_{i,j}^{(\gamma)}$  для элемента  $a_{i,j}$  через весовой коэффициент  $p_{i,j}^{(\gamma-1)}$  предыдущего разряда  $b(a_{i,j})^{(\gamma)}$  элемента  $a_{i,j}$ . При этом возможны четыре варианта зависимости между разрядами отдельного элемента  $a_{i,j}$  фрагмента изображения:

$$1) |b(a_{i,j})^{(\gamma-2)} - b(a_{i,j})^{(\gamma-1)}| = 1 \text{ и} \\ |b(a_{i,j})^{(\gamma-1)} - b(a_{i,j})^{(\gamma)}| = 1:$$

$$p_{i,j}^{(\gamma)} = p_{i,j}^{(\gamma-1)} \frac{\beta_{i,j}^{(\gamma-1)} + 1}{v - \gamma + 2};$$

$$2) |b(a_{i,j})^{(\gamma-2)} - b(a_{i,j})^{(\gamma-1)}| = 1 \text{ и} \\ |b(a_{i,j})^{(\gamma-1)} - b(a_{i,j})^{(\gamma)}| = 0:$$

$$p_{i,j}^{(\gamma)} = p_{i,j}^{(\gamma-1)} \left( \frac{(\beta_{i,j}^{(\gamma-1)} + 1)\beta_{i,j}^{(\gamma)}}{(v - \gamma + 2 - \beta_{i,j}^{(\gamma-1)})(v - \gamma + 2)} \right);$$

$$3) |b(a_{i,j})^{(\gamma-2)} - b(a_{i,j})^{(\gamma-1)}| = 0 \text{ и} \\ |b(a_{i,j})^{(\gamma-1)} - b(a_{i,j})^{(\gamma)}| = 1:$$

$$p_{i,j}^{(\gamma)} = p_{i,j}^{(\gamma-1)} \frac{(v - \gamma - \beta_{i,j}^{(\gamma-1)} + 3)(v - \gamma + 2 - \beta_{i,j}^{(\gamma-1)})}{(\beta_{i,j}^{(\gamma-1)})(v - \gamma + 2)};$$

$$4) |b(a_{i,j})^{(\gamma-2)} - b(a_{i,j})^{(\gamma-1)}| = 0 \text{ и} \\ |b(a_{i,j})^{(\gamma-1)} - b(a_{i,j})^{(\gamma)}| = 0:$$

$$p_{i,j}^{(\gamma)} = p_{i,j}^{(\gamma-1)} \frac{v - \gamma - \beta_{i,j}^{(\gamma-1)} + 3}{v - \gamma + 2},$$

где  $v$  – количество разрядов в обрабатываемом отдельном элементе  $a_{i,j}$ ;  $\beta_{i,j}^{(\gamma)}$  – рекуррентный параметр, равный количеству двоичных перепадов (переходов между «0» и «1») для последова-

тельности, состоящей из  $(v - \gamma + 1)$  необработанных разрядов отдельного элемента  $a_{i,j}$  фрагмента изображения:

$$\beta_{i,j}^{(\gamma)} = \beta_{i,j}^{(\gamma-1)} - |b(a_{i,j})^{(\gamma)} - b(a_{i,j})^{(\gamma-1)}|.$$

Для начального шага обработки ( $\gamma=1$ ) принимаются следующие значения разряда  $b_{i,j}^{(0)} = 0$  и рекуррентного параметра  $\beta_{i,j}^{(0)} = 2\eta_{i,j}$ . Весовой коэффициент  $p_{i,j}^{(\gamma)}$  на первом шаге обработки для двух случаев значения первого разряда отдельного элемента  $a_{i,j}$  фрагмента изображения определяется как:

$$1) b(a_{i,j})^{(1)} = 1: p_{i,j}^{(1)} = W_{i,j} \frac{v+1-2\eta_{i,j}}{v+1}; \quad (2)$$

$$2) b(a_{i,j})^{(1)} = 0: p_{i,j}^{(1)} = W_{i,j} \frac{2\eta_{i,j}}{v+1}. \quad (3)$$

С учетом (2) и (3) выражение (1) для вычисления структурного представления  $u_{i,j}$  двоичных данных для отдельного элемента  $a_{i,j}$  фрагмента изображения принимает вид:

$$u_{i,j} = b(a_{i,j})^{(1)} W_{i,j} \frac{v+1-2\eta_{i,j}}{v+1} + \overline{b(a_{i,j})^{(1)}} W_{i,j} \frac{2\eta_{i,j}}{v+1} + \\ + \left( b(a_{i,j})^{(2)}; \dots; b(a_{i,j})^{(v)} \right) \cdot \left( p_{i,j}^{(2)}; \dots; p_{i,j}^{(v)} \right),$$

где  $\overline{b(a_{i,j})^{(\gamma)}}$  – инвертированное значение  $\gamma$ -го разряда элемента  $a_{i,j}$ ;

$V \bullet P$  – выполнение скалярного умножения вектора  $V = \{b(a_{i,j})^{(2)}; \dots; b(a_{i,j})^{(v)}\}$  разрядов элемента  $a_{i,j}$  фрагмента изображения на вектор  $P = \{p_{i,j}^{(2)}; \dots; p_{i,j}^{(v)}\}$  весовых коэффициентов.

После формирования структурного представления двоичных данных образуется биномиальное структурное число  $Y(G(g_i, g_j, A_\varphi))$ . Для этого числа координаты  $(i, j)$  определяют местоположение элемента в локальном фрагменте изображения.

На третьем этапе для сокращения длины кода полученных структурных представлений  $u_{i,j}$  двоичной последовательности отдельных элементов  $a_{i,j}$  фрагмента изображения предлагается уменьшить значения оснований двоичного признака  $G_\varphi$ . Для этого величину  $s'_{i,j}$  рассчитывают по одной из следующих формул:

$$s'_{i,j} = \min(G^{(\text{row})}(i); G^{(\text{col})}(j))$$

$$\text{При } i = \overline{1; m}, j = \overline{1; n}, G_\varphi = 0, \quad (4)$$

$$s'_{i,j} = W_{i,j} \text{ при } i = \overline{1; m}, j = \overline{1; n}, G_\varphi = 1. \quad (5)$$



С учетом выражений (4) и (5) величина  $s'_{i,j}$  для фрагмента изображения вычисляется по формуле:

$$s'_{i,j} = \min (G^{(\text{row})}(i); G^{(\text{col})}(j)) \times \overline{G_\varphi} + \frac{(v+1)!}{(2\eta_{i,j})!(v+1-2\eta_{i,j})!} \times G_\varphi.$$

После этого на четвертом этапе для построения ИС ККП изображения на основе плавающей схемы необходимо выполнить линеаризацию биномиального структурного числа  $Y(G(g_i, g_j, A_\varphi))$ .

Структурное число  $Y(G(g_i, g_j, A_\varphi))$  в исходном виде представляет собой двумерную матрицу биномиального представления исходного фрагмента изображения  $A = \{a_{i,j}\}$ ,  $i = \overline{1, m}$ ,  $j = \overline{1, n}$ , которая преобразовывается в одномерный вектор  $Y(G(g_i, g_j, A_\varphi)) = \{y_{i,j}\} = \{y_\tau\}_{\tau=1, mn} = \{y_{m(j-1)+i}\}$ .

Для удобства проведения расчетов и для определения взаимно-однозначного соответствия элементов фрагмента изображения с основаниями предлагается расширить систему оснований до мощности исходного фрагмента изображения в одномерном векторном виде. Для этого воспользуемся формулой

$$S^{(m \times n)} = \{s'_\tau\} = \{s'_{m(j-1)+i}\}, \tau = \overline{1, mn}. \quad (6)$$

Для контроля переполнения кодового слова при формировании кода ИС ККП  $N$  введем дополнительную величину  $T_Q$ , равную накопленному произведению оснований для  $Q$  элементов, принимающих участие в формировании кода, которая определяется по формуле

$$T_Q = \prod_{\xi=1}^Q s'_\xi.$$

Переполнения кодового слова не произойдет, если выполняется неравенство

$$T_Q \leq 2^M - 1. \quad (7)$$

С учетом выражения (6) величина  $T_Q$  для фрагмента изображения определяется по формуле:

$$T_Q = \prod_{\xi=1}^Q \min (G^{(\text{row})}(\xi - m[\frac{\xi-1}{m}]); G^{(\text{col})}([\frac{\xi-1}{m}] + 1)) \times \overline{G_\varphi} + \frac{(v+1)!}{(2\eta_{i,j})!(v+1-2\eta_{i,j})!} \times G_\varphi.$$

Максимальное количество элементов  $Q_{\text{пр}}$ , принимающих участие в формировании кода ИС ККП, определяется как значение аргумента, при котором величина  $T_Q$  достигает максимума при условии выполнения неравенства (7), по формуле

$$Q_{\text{пр}} = \arg \max_Q (T_Q) = \arg \max_Q (\prod_{\xi=1}^Q s'_\xi).$$

Пятый этап состоит во втором каскаде формирования ИС ККП изображений (представления данных в системе обобщенного позиционного кодирования) в базисе по верхним границам на основе плавающей схемы и задается выражением:

$$N = \sum_{\tau=1}^{Q_{\text{пр}}} y_\tau V_\tau.$$

В данном выражении весовой коэффициент  $V_\tau$  определяется формулой:

$$V_\tau = \begin{cases} \prod_{\xi=\tau+1}^{Q_{\text{пр}}} s'_\xi, & \rightarrow \tau < Q; \\ 1, & \rightarrow \tau = Q. \end{cases}$$

Здесь количество  $Q_{\text{пр}}$  кодируемых во втором каскаде элементов ограничено значением  $Q_{\text{пр}} \leq mn$  и определяется выражением:

$$Q_{\text{пр}} = \arg \max_Q \left( \prod_{\xi=1}^Q \frac{(v+1)!}{(2\eta_{\xi-m[\frac{\xi-1}{m}], [\frac{\xi-1}{m}]+1})!} \times \frac{1}{(v+1-2\eta_{\xi-m[\frac{\xi-1}{m}], [\frac{\xi-1}{m}]+1})!} \right).$$

## Выводы

1. Для понижения динамического диапазона значений исходных элементов фрагмента изображения и сокращения разрядов на их представление в ККП предлагается организовать двухкаскадную обработку на основе обобщенного позиционного кодирования с учетом двоичного признакового пространства, которая заключается в:

- биномиальном кодировании двоичного представления элементов фрагмента изображения;
- формировании ККП изображений с учетом полученных структурных особенностей кодированного фрагмента изображения на основе плавающей схемы обобщенного позиционного кодирования в базисе по верхним границам двоичного структурного пространства по количеству серий единиц.

Данный подход приводит к увеличению количества кодируемых элементов, принимающих участие в формировании кодов ИС ККП изображений на основе плавающей схемы обобщенного позиционного кодирования. Это обеспечивает криптостойкость за счет увеличения неопределенности при формировании ККП и повышения оперативности из-за уменьшения ИС ККП.

2. Служебная составляющая ККП изображений формируется на основе двоичного признакового пространства и представляет собой биномиальный код значений количества серий единиц для

всех элементов фрагмента изображений. Это обеспечит повышение криптостойкости служебных данных за счет отсутствия прямой взаимосвязи, которая наблюдалась между значениями системы оснований и исходными значениями фрагмента изображения, что позволяло восстановить изображение с локализованной ошибкой, базируясь только на значениях системы оснований (в варианте построения ККП изображения без криптологического преобразования служебной составляющей). А так как система служебных данных для всего изображения, являющаяся ключевым элементом для декодирования (кодирования) ИС ККП, организуется по двум подходам и несет в себе разный физический смысл, то это создает криптоаналитику больше неопределенности при дешифровке служебных данных ККП.

**Литература:** 1. *Barannik V.* Methodology of creation of cryptographic transformations on the basis of methods excluding redundancy / V. Barannik, S. Sidchenko, V. Larin // 10th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, TCSET'2010; Lviv-Slavske; Ukraine; 23 – 27 February 2010. 312 p. 2. *Barannik V.* Methodology compression of videoinformation in the cryptographic systems / V. Barannik, S. Sidchenko, V. Larin // Science-based technologies. 2011. Vol. 11, N 3-4, doi.org/10.18372/2310-5461.11.5260. 3. *Баранник В. В.* Синтез комбинированных криптокомпрессионных систем для обеспечения безопасности видеoinформации в инфокоммуникациях / В. В. Баранник, С. А. Сидченко, И. М. Тупица // АСУ и приборы автоматики. 2014. Вып. 169. С. 39-44. 4. *Barannik V.* The methodological base of cryptocompression presentation of videoinformation resources / V.V. Barannik, S.A. Sidchenko, V.V. Larin // 12th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2013, Lviv; Ukraine; 19 - 23 February 2013. P. 27-28. 5. *Баранник В. В.* Методология позиционирования полиадических кодовых конструкций на основе классифицирующих признаков в системе криптокомпрессионного представления / В.В. Баранник, С.А. Сидченко, И.М. Тупица, Н.А. Королева // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2015. № 4. С. 56-60. doi.org/10.18664/iksz.v0i4.53977 (rus). 6. *Баранник В.В.* Метод дешифрируемо-стойкого представления изображений / В.В. Баранник, С.А. Сидченко, В.В. Ларин // Сучасна спеціальна техніка. 2011. №1 (24). С. 24-29. 7. *Barannik V. V.* The Decoded-proof Presentation of Images on the Basis of the Polyadycal Encoding Systems / V. V. Barannik, S. A. Sidchenko, V. V. Larin // XIth International Conference CADSM 2011, The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, Lviv-Polyana, Ukraine, Lviv Polytechnic National University, February 23 – 25, 2011. P. 182. 8. *Сидченко С.А.* Способ представления изображений, стойких к дешифрированию, на основе плавающей схемы кодирования / С.А. Сидченко // Системи озброєння і військова техніка. 2011. Вип. 3 (27). С. 68–70. 9. *Barannik V.* Methodology constructions of floating chart of decoded-proof

presentation of images / V. Barannik, S. Sidchenko // 11th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, TCSET'2012; Lviv – Slavske; Ukraine; 21 February 2012 – 24 February 2012. P. 437. 10. *Barannik V.* The method of crypto-semantic presentation of images based on the floating scheme in the basis of the upper boundaries / V. Barannik, I. Tupitsya, S. Sidchenko, R. Tarnopolov // 2nd International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2015. Kharkiv. Ukraine. 13 – 15 October 2015. P. 248-250, doi.org/10.1109/infocommst.2015.7357326 (eng). 11. *Баранник В.В.* Метод криптосемантического представления изображений на основе плавающей схемы в базе по верхним границам / В.В. Баранник, С.А. Сидченко, И.М. Тупица // Радиоэлектроника и информатика. 2015. № 4. С. 9-12. 12. *Barannik V.* The application for internal restructuring the data in the entropy coding process to enhance the information resource security / V. Barannik, I. Tupitsya, S. Shulgin, S. Sidchenko, V. Larin // 2016 IEEE East-West Design & Test Symposium. Yerevan, 2016. P. 1-4. doi.org/10.1109/ewdts.2016.7807749 (eng). 13. *Наукоємкие технологии в инфокоммуникациях: обработка и защита информации: коллективная монография / Под ред. В.В. Баранник, В.М. Безрук. Х.: СМІТ, 2013. 398 с.*

#### **Транслитерированный список литературы:**

1. *Barannik V.* Methodology of creation of cryptographic transformations on the basis of methods excluding redundancy / V. Barannik, S. Sidchenko, V. Larin // 10th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, TCSET'2010; Lviv-Slavske; Ukraine; 23 February 2010 - 27 February 2010; p. 312.

2. *Barannik V.* Methodology compression of videoinformation in the cryptographic systems / V. Barannik, S. Sidchenko, V. Larin // Science-based technologies. 2011. Vol. 11. No. 3-4, doi.org/10.18372/2310-5461.11.5260 (eng).

3. *Barannik V. V.* Sintez kombinirovannyh kriptokompressionnyh sistem dlja obespechenija bezopasnosti videoinformacii v infokommunikacijah / V. V. Barannik, S. A. Sidchenko, I. M. Tupica // Avtomatizirovannye sistemy upravlenija i pribory avtomatiki. H.: HNURJe. 2014. Vyp. 169. S. 39-44.

4. *Barannik V.* The methodological base of cryptocompression presentation of videoinformation resources / V. V. Barannik, S. A. Sidchenko, V. V. Larin // 12th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2013, Lviv; Ukraine; 19 - 23 February 2013. P. 27-28.

5. *Barannik V.V.* Metodologija pozicionirovanija poliadicheskikh kodovyh konstrukcij na osnove klassificirujushchih priznakov v sisteme kriptokompressionnogo predstavlenija / V.V. Barannik, S.A. Sidchenko, I. M. Tupica, N.A. Koroleva // Informacijno-kerujuchi sistemi na zaliznichnomu transporti. 2015. № 4. S. 56-60. doi.org/10.18664/iksz.v0i4.53977 (rus).

6. *Barannik V. V.* Metod deshifriruemo-stojkogo predstavlenija izobrazhenij / V. V. Barannik, S. A. Sidchenko,

V. V. Larin // *Suchasna special'na tehnika*. 2011. №1 (24). S. 24-29.

7. *Barannik V. V.* The Decoded-proof Presentation of Images on the Basis of the Polyadycal Encoding Systems / V. V. Barannik, S. A. Sidchenko, V. V. Larin // XIth International Conference CADSM 2011, The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, Lviv-Polyana, Ukraine, Lviv Polytechnic National University, February 23 – 25, 2011. P. 182.

8. *Sidchenko S. A.* Sposob predstavlenija izobrazhenij stojkih k deshifirovaniju na osnove plavajushhej shemy kodirovanija / S. A. Sidchenko // *Sistemy ozbrojennja i vijs'kova tehnika*. 2011. Vyp. 3 (27). S. 68–70.

9. *Barannik V.* Methodology constructions of floating chart of decoded-proof presentation of images / V. Barannik, S. Sidchenko // 11th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, TCSET'2012; Lviv – Slavske; Ukraine; 21 - 24 February 2012. P. 437.

10. *Barannik V.* The method of crypto-semantic presentation of images based on the floating scheme in the basis of the upper boundaries / V. Barannik, I. Tupitsya, S. Sidchenko, R. Tarnopolov // 2nd International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2015; Kharkiv; Ukraine; 13 – 15 October 2015. P. 248-250, doi.org/10.1109/infocommst.2015.7357326 (eng).

11. *Barannik V. V.* Metod kriptosemanticheskogo predstavlenija izobrazhenij na osnove plavajushhej shemy v bazise po verhnim granicam / V. V. Barannik, S. A. Sidchenko, I. M. Tupica // *Radioelektronika i informatika*. – 2015. № 4. S. 9-12.

12. *Barannik V.* The application for internal restructuring the data in the entropy coding process to enhance the information resource security / V. Barannik, I. Tupitsya, S. Shulgin, S. Sidchenko, V. Larin // 2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS), Yerevan, 2016. P. 1-4, doi.org/10.1109/ewdts.2016.7807749 (eng).

13. *Naukoemkie tehnologii v infokommunikacijah: obrabotka i zashhita informacii: kollektivnaja monografija* / pod red. V.V. Barannik, V.M. Bezruk. – H. : SMIT, 2013. – 398 s.

Поступила в редколлегию 23.03.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

**Баранник Владимир Викторович**, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры автоматизированных систем управления, Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба. Научные интересы: кодирование и защита информации для передачи в телекоммуникационных системах. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79. E-mail: barannik\_v\_v@mail.ru.

**Сидченко Сергей Александрович**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник научного центра, Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба. Научные интересы: кодирование и защита информации для передачи в телекоммуникационных системах, информационная борьба. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79. E-mail: [sidserg@list.ru](mailto:sidserg@list.ru).

**Баранник Дмитрий Владимирович**, студент факультета КИУ ХНУРЭ. Научные интересы: кодирование и защита информации для передачи в телекоммуникационных системах. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79. E-mail: barannik\_v\_v@mail.ru.

**Barannik Vladimir Victorovich**, doctor of sciences by technical, professor, chief of department of the Kharkiv national University of Air Force, 77/79, Sumska St., Kharkiv 61023, Ukraine. E-mail: barannik\_v\_v@mail.ru.

**Sidchenko Sergey Aleksandrovich**, philosophy doctor by technical, senior research worker, senior research worker of scientific center of the Kharkiv national University of Air Force, 77/79, Sumska St., Kharkiv 61023, Ukraine. E-mail: [sidserg@list.ru](mailto:sidserg@list.ru).

**Barannik Dmitry Vladimirovich**, student of Computer Engineering Faculty, Kharkov National University of Radioelectronics. Scientific interests: encoding and protection of information for transmission in telecommunication systems. Address: Ukraine, 61023, Kharkov, ul. Sumskaya, 77/79. E-mail: barannik\_v\_v@mail.ru.

## АНАЛИЗ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНО-АКТУАТОРНОЙ СЕТИ И МЕТОД ИХ ВЫБОРА

БЕЗРУК В.М., ВЛАСОВА В.А., СКОРИК Ю.В., КОЛТУН Ю.Н., КОСТРОМИЦКИЙ А.И.

Рассматривается процесс выбора эффективного протокола маршрутизации для применения в полевых сенсорных сетях с локализацией элементов методом анализа иерархий. В результате сравнительного анализа выбран энергоэффективный протокол маршрутизации на основе местоположения узлов БСАС.

**Ключевые слова:** сенсорная сеть, маршрутизация, критерии выбора, энергоэффективность, метод анализа иерархий, эксперт.

**Key words:** Sensor network, routing, selection criteria, energy efficiency, hierarchy analysis process, expert.

### 1. Введение

В настоящее время активно развиваются беспроводные сенсорно-актуаторные сети (БСАС), которые эффективно используются для решения прикладных задач распределенного сбора информации о контролируемом параметре в сетях мониторинга и контроля. Такие сети являются гомогенными, самоорганизующимися, одноранговыми, с ячеистой топологией, узлы которых способны к ретрансляции информации. Автономные источники питания в виде батареи в этих сетях накладывают жесткие ограничения по энергоэффективности на все протоколы маршрутизации, применяемые в сенсорных сетях. Поэтому для БСАС важными являются задачи маршрутизации, в частности, поиска оптимальных с точки зрения энергоэффективности и поиска маршрутов, обеспечивающих максимальное время жизни сети. Развитие БСАС привело к появлению большого числа протоколов маршрутизации. Это определяет актуальность выбора предпочтительного протокола маршрутизации для конкретной реализации.

### 2. Обзор протоколов маршрутизации в БСАС

Высоким спросом для приложений беспроводной сенсорно-актуаторной сети пользуются 3 вида алгоритмов:

- централизованные алгоритмы: основаны на том, что один узел обладает знаниями обо всей сети. Эти алгоритмы используются крайне редко из-за значительных энергозатрат на передачу «главному узлу» информации о состоянии всей сети;
- распределенные алгоритмы: в отличие от предыдущего алгоритма, связь поддерживается за счет обмена информацией между узлами;
- алгоритмы, основанные на местоположении: узлы используют информацию об ограниченной области вокруг них для локальной маршрутизации.

Парадигма алгоритма маршрутизации является важным фактором при выборе протокола маршрутизации для использования в конкретной сети. Если применять алгоритмы, предназначенные для работы с ограниченной областью, то необходимо оптимизировать связи между соседними узлами. С другой стороны, для централизованных алгоритмов множество сообщений, передаваемых только на центральный узел, является преимуществом. Использование распределенных алгоритмов требует надежной и эффективной связи между любыми парами узлов. В свою очередь, алгоритмы на основе местоположения, эффективность которых обеспечивается знанием географических координат, например, с помощью GPS, делают решение более дорогим [1,2].

*Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN)* является адаптивным протоколом, который позволяет строить маршруты передачи информации с высокой энергетической эффективностью. Сети, использующие протокол SPIN, работают с высокоуровневыми дескрипторами данных – метаданными. Для того чтобы исключить передачу избыточной информации, в сети используются согласование мета-данных и знания о доступных ресурсах. Это позволяет узлам эффективно распределять информацию между ретрансляторами с ограниченным источником питания.

*Directed Diffusion* – протокол, ориентированный на данные (data-centric). В сетях, использующих этот протокол для маршрутизации, сенсорные узлы применяют связку «атрибут-значение». Для получения данных узел генерирует запрос по определенной схеме, подобно работе базы данных, где узлы выступают в роле ячеек данных. Обычно источником таких запросов является базовая станция (БС). Узлы хранят предыдущие запросы, а при получении нового обновляют кэш запросов, что позволяет определять скорость передачи данных. При получении сообщения с запросом устанавливается связь с отправителем и при этом активизируются датчики сбора данных. Такая связь называется градиентом и характеризуется скоростью передачи данных, продолжительностью и временем окончания сеанса связи. При получении запроса узел старается установить как можно больше градиентов в направлении к БС. Для оптимизации используются положительные и отрицательные подкрепления. Также алгоритм подразумевает работу с двумя видами градиентов: «разведывательный» и градиент данных. Первый предназначен для настройки маршрута, а второй – для отправки данных.

*Rumor Routing.* Этот алгоритм подразумевает использование запросов от БС, которые распространяются по всей сети узлам, наблюдающим события, отраженные в запросе. Для этого узел, который фиксирует изменение контролируемого параметра, передает пакет, который называется агентом. Агенты распространяются по сети, агрегируя данные от других узлов с событиями, в направлении БС. Для избегания образования петель агенты хранят список посещенных узлов. Помимо доставки информации, агенты позволяют поддерживать актуальные знания о сети каждым узлом, обновляя информацию из агента. Тем не менее, некоторые узлы могут не получать эту информацию, так как агент распространяется между некоторыми соседними узлами случайным образом.

*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH).* В алгоритме LEACH роль главы кластера периодически выполняют разные узлы сети для равномерного использования энергии. Преимущество LEACH – в использовании циклов. В каждом цикле заново выбирается глава кластера из числа узлов, которые не были главами кластеров, и для обеспечения процента глав кластеров относительно общего числа узлов сети. Затем глава кластера рассылает расписание для доступа с временным разделением (TDMA) внутри кластера. Это позволяет узлам включать передачу только тогда, когда глава кластера свободен. Также глава кластера отвечает за агрегацию данных, полученных от узлов своего кластера, для устранения избыточности.

*Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol (TEEN)* в отличие от иерархических протоколов используется для реактивных сетей, которые немедленно реагируют на изменение различных параметров. В этом протоколе глава кластера рассылает пороговые значения (hard и soft), при достижении которых узел передает информацию. Если параметр из набора атрибутов достигает жесткого порогового значения, узел включает передатчик и передает данные. Затем другие узлы передают данные в соответствующем временном промежутке при выполнении следующих условий: текущее значение атрибутов больше hard порога и текущее значение атрибута отличается от заданного значения на величину, равную или большую, чем soft порог. Обе стратегии направлены на уменьшение затрат энергии на передачу сообщений.

Основным недостатком этого алгоритма является то, что если контролируемое значение не достигнет порогового уровня, то узлы не будут связываться между собой, пользователь не получит ни-

какой информации и не будет осведомлен о работоспособности сети. Таким образом, данный алгоритм не применим для приложений, где передача информации должна быть регулярна.

*Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS)* считается улучшением алгоритма LEACH. Вместо распределения узлов в кластеры он предусматривает формирование цепочек сенсорных узлов. На основе этой структуры каждый узел передает и принимает информацию только от одного ближайшего соседнего узла. Это позволяет регулировать мощность передачи. Узел выполняет агрегацию данных, пересылает их по цепочке до базовой станции. В каждом цикле только один узел из цепочки взаимодействует с базовой станцией. Цепочка строится с максимальной эффективностью по энергозатратам.

*Self-Organizing Protocol (SOP)* – протокол маршрутизации и самоорганизации, используется в гетерогенных сенсорных сетях с поддержкой как стационарных, так и мобильных узлов. Оконечные датчики, которые собирают информацию об атрибутах окружающей среды, передают данные определенному числу узлов, выполняющих роль маршрутизаторов. Они являются стационарными и образуют основную сеть коммуникации. Собранные данные передаются маршрутизаторами на более мощные базовые станции. Каждый окончательный узел должен иметь возможность связаться хотя бы с одним маршрутизатором, чтобы быть частью данной сенсорной сети. Оконечные узлы могут быть идентифицированы посредством адреса маршрутизатора, которому они передают информацию. Таким образом, формируется иерархическая архитектура, где группы узлов формируются и объединяются по необходимости.

*Geographic Adaptive Fidelity (GAF)* – протокол, направленный на оптимизацию производительности БСАС за счет поиска эквивалентных узлов, с точки зрения передачи информации. Эквивалентными считаются такие узлы, которые могут поддерживать связь одним и тем же множеством соседних узлов. Для определения эквивалентных узлов необходимо знать глобальное (или, по крайней мере, локальное) местоположение узлов сети. Формируется виртуальная сетка с таким размером ячеек, чтобы все узлы ячейки могли взаимодействовать с узлами соседней, и наоборот. Таким образом, узлы в одной ячейке – эквивалентные. Для обеспечения энергоэффективности только один из узлов в ячейке будет обеспечивать связь, в то время как остальные будут резервными.

*Geographical Energy and Aware Routing (GEAR)* – алгоритм маршрутизации, который также основан на знании местоположения узлов. Локализация происходит с помощью систем глобального позиционирования или других систем. Выбор узла-ретранслятора для построения маршрута основывается на эвристическом выборе из множества соседних узлов. Маршруты, построенные с использованием протокола GEAR, образуются за счет рекурсивной географической передачи пакета внутри сенсорного поля. Таким образом, достигается высокая энергоэффективность при использовании в одноранговых сетях.

*Sequential Assignment Routing (SAR)* – один из первых протоколов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях, который обеспечивает понятие Quality Of Service (QoS – качество услуг) критериев маршрутизации. Он базируется на выставлении

атрибутов уровня приоритета каждого пакета. Кроме того, связи и маршруты имеют метрику, характеризующую их возможность обеспечить качество обслуживания. Эта метрика определяется задержками и энергозатратами. На основе алгоритма создается дерево маршрутов с корнем в одном *hop*’е от базовой станции. Для этого учитываются несколько параметров, таких как приоритет пакетов, энергетические ресурсы, показатели QoS. Протокол также периодически актуализирует маршруты, чтобы реагировать на выход из строя одного из активных узлов.

*A Stateless Protocol for Real-Time Communication in Sensor Networks (SPEED)* – протокол, также обеспечивающий QoS. Для его работы требуется, чтобы каждый узел сохранял информацию о своих соседях и использовал данные об их географическом положении для поиска путей. Кроме того, протокол стремится обеспечить определенную скорость доставки каждого пакета. Таким образом,

можно заранее оценить задержку прохождения пакета от отправителя к получателю, разделив расстояние на скорость пакета. Также SPEED позволяет находить обходные маршруты в случае перегрузок сети. Модуль маршрутизации в протоколе SPEED называется Stateless Geographic Non-Deterministic Forwarding (SNFG) и работает с четырьмя другими модулями на сетевом уровне. Оценка задержки на каждом узле основывается на определении времени, которое прошло после запроса подтверждения получения переданного пакета данных. Исходя из значения задержки, SNFG выбирает узел, который отвечает требованиям по скорости обработки. Если такового нет, рассматриваются соседние узлы.

В табл. 1 представлены обобщенные характеристики рассмотренных протоколов маршрутизации.

Таблица 1

№	Протоколы маршрутизации	Мобильность	Потребляемая мощность	Согласованность	Агрегация данных	Локализация	QoS	Сложность структуры	Масштабируемость	Множественность путей
N <sub>1</sub>	SPIN	Возможна	Ограничена	Да	Да	Нет	Нет	Низкая	Ограничена	Да
N <sub>2</sub>	Directed Diffusion	Ограничена	Ограничена	Да	Да	Нет	Нет	Низкая	Ограничена	Да
N <sub>3</sub>	Rumor Routing	Очень ограничена	Не определена	Нет	Да	Нет	Нет	Низкая	Хорошая	Нет
N <sub>4</sub>	LEACH	Фиксированные БС	Максимальна	Нет	Да	Да	Нет	Главные узлы кластера	Хорошая	Нет
N <sub>5</sub>	TEEN	Фиксированные БС	Минимальна	Нет	Да	Нет	Нет	Главные узлы кластера	Хорошая	Нет
N <sub>6</sub>	PEGASIS	Фиксированные БС	Максимальна	Нет	Нет	Да	Нет	Низкая	Хорошая	Нет
N <sub>7</sub>	SOP	Нет	Не определена	Нет	Нет	Нет	Нет	Низкая	Низкая	Нет
N <sub>8</sub>	GAF	Ограничена	Ограничена	Нет	Нет	Да	Нет	Низкая	Хорошая	Нет
N <sub>9</sub>	GEAR	Ограничена	Ограничена	Нет	Нет	Да	Нет	Низкая	Ограничена	Нет
N <sub>10</sub>	SAR	Нет	Не определена	Да	Да	Нет	Да	Средняя	Ограничена	Нет
N <sub>11</sub>	SPEED	Нет	Не определена	Нет	Нет	Да	Да	Средняя	Ограничена	Да

Приведенные в табл. 1 данные использованы при сравнении протоколов маршрутизации методом анализа иерархий, в частности, при формировании матриц парных сравнений протоколов с учетом мнений экспертов.

### 3. Метод анализа иерархий для выбора предпочтительного варианта протокола маршрутизации БСАС

Рассмотрим особенности применения метода анализа иерархий для выбора единственного предпочтительного протокола маршрутизации БСАС с учетом совокупности показателей качества. Были взяты данные по 11 протоколам маршрутизации (табл. 1).

Метод анализа иерархий (МАИ) состоит в декомпозиции проблемы выбора предпочтительного варианта протокола маршрутизации на простые составляющие части и получении суждений экспертов по парным сравнениям элементов проблемы выбора [3, 4], которые представляются в виде матрицы

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & a_{ij} & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $a_{ij}$  – оценки парных сравнений элементов.

Оценки парных сравнений элементов  $a_{ij}$  находятся с использованием субъективных суждений экспертов, численно определяемых по шкале относительной важности элементов [3, 4].

В результате обработки матрицы (1) получают компоненты собственного вектора  $V_j$  и вектора приоритетов  $P_j$ :

$$P_j = \frac{V_j}{S}, \quad V_j = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_{ij}}, \quad S = \sum_{j=1}^n V_j, \quad (2)$$

где  $n$  – число сравниваемых вариантов протоколов маршрутизации.

С использованием этих данных вычисляются значения компонент вектора глобальных приоритетов  $\vec{C}$  согласно [3,4]:

$$C = \sum_{ij=1, \overline{1, N}}^N P_j P_N, \quad (3)$$

Здесь  $P_N$  – компоненты вектора приоритетов по отношению к каждому показателю качества.

По максимальному значению компонент глобального вектора приоритетов выбирается единственный предпочтительный вариант протокола маршрутизации.

В табл. 2 приведена матрица парных сравнений показателей качества протоколов маршрутизации согласно (1), затем вычислены собственный вектор и вектор приоритетов согласно (2). За показатели качества были взяты следующие характеристики протоколов маршрутизации:  $K_1$  – потребляемая

мощность,  $K_2$  – локализация,  $K_3$  – QoS,  $K_4$  – сложность структуры,  $K_5$  – масштабируемость.

Таблица 2

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$V_1$	$P_1$
$K_1$	1	1/5	6	7	8	2,319	0,271
$K_2$	5	1	7	8	9	4,789	0,56
$K_3$	1/6	1/7	1	3	3	0,734	0,086
$K_4$	1/7	1/8	1/3	1	2	0,4121	0,048
$K_5$	1/8	1/9	1/3	1/2	1	0,296	0,0346

В табл. 3 показаны результаты вычисления значений компонент вектора глобальных приоритетов  $C_j$  согласно соотношению (3).

Таблица 3

Протоколы маршрутизации	Компоненты векторов приоритетов протоколов маршрутизации по отношению к показателям качества $P_N$					$C_j$
	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	
SPIN	0,125	0,026	0,041	0,141	0,043	0,0607
Directed Diffusion	0,1105	0,023	0,036	0,123	0,038	0,0535
Rumor Routing	0,049	0,02	0,033	0,109	0,158	0,0385
LEACH	0,017	0,176	0,028	0,019	0,14	0,1116
TEEN	0,249	0,018	0,046	0,016	0,18	0,0888
<u>PEGASIS</u>	0,016	0,155	0,024	0,096	0,123	0,1025
<u>SOP</u>	0,039	0,016	0,021	0,084	0,012	0,0262
<u>GAF</u>	0,179	0,227	0,062	0,18	0,204	0,1968
<u>GEAR</u>	0,145	0,2	0,052	0,159	0,036	0,1648
<u>SAR</u>	0,036	0,014	0,348	0,037	0,032	0,0507
<u>SPEED</u>	0,032	0,119	0,306	0,032	0,028	0,1046
$P_i, i = \overline{1, 5}$	0,271	0,56	0,086	0,048	0,035	

Из табл. 3 видно, что согласно МАИ предпочтительным вариантом маршрутизации является протокол маршрутизации  $N_8$  – GAF, который соответствует максимальной компоненте глобального вектора приоритетов [1-4].

### 4. Вывод

Проведен сравнительный анализ характеристик 11 протоколов маршрутизации в БСАС. Рассмотрены практические особенности применения метода анализа иерархий для выбора предпочтительного варианта протокола маршрутизации в БСАС. В результате применения МАИ выбран предпочтительный вариант протокола маршрутизации – GAF (протокол маршрутизации, основанный на знании каждым узлом своего местоположения) для применения в полевых БСАС с локализацией элементов.



Достоинством использования метода анализа иерархий для выбора предпочтительного варианта протокола маршрутизации является учет суждений экспертов и последующая формализованная процедура обработки полученных данных для решения такой задачи выбора.

**Литература:** 1. Баскаков С. С. Маршрутизация по виртуальным координатам в беспроводных сенсорных сетях [Текст]: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.13.15 / С. С. Баскаков; [Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана]. М., 2011. 18 с. 2. Иваненко В. Анализ протоколов передачи данных от узлов в беспроводных сенсорных сетях / Виктория Иваненко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. Т. 2, N 10(50). С. 9–12. Режим доступа: DOI: 10.15587/1729-4061.2011.1860. 3. Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process [Text] / T.L. Saaty // New York: McGraw Hill, 1980. 270 с. 4. Безрук В. М. Применение метода анализа иерархий при выборе средств телекоммуникаций с учетом совокупности показателей качества [Текст] / В. М. Безрук, Ю. В. Скорик // Радиоэлектроника и информатика. 2013. С. 24-29.

#### **Transliterated bibliography:**

1. *Baskakov S.S.* (2011). *Marshrutizaciya po virtualnym koordinatam v besprovodnyx sensoryx setyax. Avtireferat dissertacii.* Moskva, 18 p.
2. *Ivanenko V.A.* (2011). *Analiz protokolov peredachi dannyx otuzlov v besprovodnyx sensoryx setyax. Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyx texnologij, 2/10(50), 9–12.*
3. *Saaty T.L.* (1980). *The Analytic Hierarchy Process* New York: McGraw Hill, 270 p.
4. *Bezruk V., Skorik Y.* (2013). *Primenenie metoda analiza ierarxij pri vybore sredstv telekommunikacij s uchetom sovkupnosti pokazatelej kachestva. Radioelektronika i informatika, 24–29.*

Поступила в редколлегию 22.04.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Баранник В.В.

**Безрук Валерий Михайлович**, д-р техн. наук, академик академии связи Украины, профессор, заведующий кафедры «Информационно-сетевая инженерия» ХНУРЭ. Адрес: пр. Науки, 14, Харьков, 61166, Украина. E-mail: [valeriy\\_bezruk@ukr.net](mailto:valeriy_bezruk@ukr.net)

**Власова Виктория Александровна**, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Информационно-сетевая инженерия» ХНУРЭ. Адрес: пр. Науки, 14, Харьков, 61166, Украина. E-mail: [zlata\\_ne@bk.ru](mailto:zlata_ne@bk.ru)

**Скорик Юлия Валериевна**, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Информационно-сетевая инженерия» ХНУРЭ. Адрес: пр. Науки, 14, Харьков, 61166, Украина. E-mail: [Skorik\\_Y@list.ru](mailto:Skorik_Y@list.ru)

**Колтун Юрий Николаевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Информационно-сетевая инженерия» ХНУРЭ. Адрес: пр. Науки, 14, Харьков, 61166, Украина. E-mail: [u.koltun@rambler.ru](mailto:u.koltun@rambler.ru)

**Костромитский Андрей Иванович**, канд. техн. наук, доцент, заместитель декана факультета «Телекоммуникаций и измерительной техники», кафедра «Информационно-сетевая инженерия» ХНУРЭ. Адрес: пр. Науки, 14, Харьков, 61166, Украина. E-mail: [a\\_kostromitsky@mail.ru](mailto:a_kostromitsky@mail.ru)

**Bezruk Valeriy**, Doctor of Technical Sciences, professor, academician of the Ukrainian Academy of Telecommunications, Professor, Head of the Department of Information and network engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics. Address: 14, Nauki ave, Kharkiv, 61166, Ukraine. E-mail: [valeriy\\_bezruk@ukr.net](mailto:valeriy_bezruk@ukr.net)

**Vlasova Viktoriya**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer Department of Information and network engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics. Address: 14, Nauki ave, Kharkiv, 61166, Ukraine. E-mail: [zlata\\_ne@bk.ru](mailto:zlata_ne@bk.ru)

**Skorik Julia**, Candidate of Technical Sciences, Assistant Department of Information and network engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics. Address: 14, Nauki ave, Kharkiv, 61166, Ukraine. E-mail: [valeriy\\_bezruk@ukr.net](mailto:valeriy_bezruk@ukr.net)

**Koltun Yuriy**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Information and network engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics. Address: 14, Nauki ave, Kharkiv, 61166, Ukraine. E-mail: [u.koltun@rambler.ru](mailto:u.koltun@rambler.ru)

**Kostromytskyi Andriy**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor Department of Information and network engineering, Deputy Dean of the Faculty of Telecommunications and measuring technology, Kharkiv National University of Radio Electronics. Address: 14, Nauki ave, Kharkiv, 61166, Ukraine. E-mail: [a\\_kostromitsky@mail.ru](mailto:a_kostromitsky@mail.ru)



**МЕТОД ФОРМУВАННЯ  
ДВОКОМПОНЕНТНОГО КОДУ ДЛЯ  
КОМПАКТНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ  
ФРАГМЕНТА ЗОБРАЖЕННЯ  
У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**  
ДОДУХ О.М., ХІМЕНКО В.В., МАЧАЛІН І.О.,  
ТАРАСЕНКО Д.А.

Показується, що існуючі системи, які проводять аерокосмічний моніторинг з використанням бортових засобів телекомунікації, не задовольняють вимоги стосовно своєчасної доставки інформації. Обґрунтовується, що технології стиснення зображень дозволяють скоротити час на доставку відеоданих. Створюється метод стиснення зображень на основі узагальненого кодування його координатно-структурної і порядково-масштабної складових.

**Ключові слова:** двокомпонентний код, структурна надлишковість, апертура, технологія стиснення, засоби телекомунікацій.

**Key words:** two-component code, structural redundancy, apertures, compression technology, telecommunications.

### 1. Вступ

Розвиток сучасного суспільства відбувається в напрямку підвищення автоматизації та інформатизації різних сфер діяльності. Для комплексної безпеки, подальшого розвитку інформатизації необхідно забезпечити моніторинг стратегічних об'єктів; заходів міжнародного значення; ліквідації надзвичайних ситуацій (НС) природного та техногенного характеру [1, 2]. Потрібно вживати заходів для покращення уже існуючих та створювати нові форми та способи управління кризовими ситуаціями. Це в першу чергу стосується підвищення ефективності інформаційного забезпечення з використанням дистанційних засобів аерокосмічного базування. Проведений всебічний аналіз показав, що можливості бортової апаратури передачі даних не в змозі забезпечити своєчасну доставку цифрових зображень. Тому виникає протиріччя між вимогами до характеристик процесів доставки даних, а саме часом обробки, передачі, якості відновлених зображень, і реальними характеристиками для існуючих комплексів безпілотних авіаційних систем. Отже, можна стверджувати, що існує *актуальна науково-прикладна задача*, яка полягає у зменшенні часу доставки відеоінформації в системі аерокосмічного моніторингу на базі бортових комплексів. Підвищення оперативності доведення інформації можливо, якщо зменшити об'єм даних, які необхідно оброблювати та передавати. Такий підхід реалізується на базі використання технологій компресії. При цьому необхідно враховувати умови аерокосмічного моніторингу, які характеризуються

тим, що: домінуючим видом зображень є насичені реалістичні зображення; висуваються підвищені вимоги відносно збереження інформаційного змісту зображень; існують обмеження на складність реалізації алгоритмів кодування для бортових засобів телекомунікації. З таких позицій найбільш ефективною є технологія, яка має можливість врахувати попереднє виявлення апертурних складових зображення. Однак існуючі технології кодування даних не дозволяють у повній мірі усувати надлишковість, яка властива складовим апертурного опису зображення. Це стосується низької ефективності відомих кодів відносно скорочення структурної надлишковості в апертурних складових. Звідси, *метою досліджень* є розробка методу компресії зображень на основі кодування, яке дає можливість виключати структурну надлишковість.

### 2. Розробка методу стиснення зображень для усунення структурної надлишковості

Для того щоб створити метод кодування, пропонується здійснити такі операції:

1. Сформувані кодовий опис заданої довжини.
2. Сформувані двокомпонентне кодове представлення на базі спільного використання елементів координатно-структурної та порядково-масштабної складової фрагмента зображення. Такі операції дають можливість проводити обробку цілісної інформації про фрагмент зображення. Пропонується сформувати кодові комбінації на основі двокомпонентного інтегрованого принципу. Такий підхід забезпечить формування додаткової групи розрядів на основі зваженого додавання компоненти апертурно-якісного опису фрагмента зображення.

В результаті цього підвищується ступінь стиснення внаслідок скорочення кількості незначущих старших розрядів у кодових комбінаціях. Виходячи з цього, надмірну кількість розрядів пропонується заповнювати за рахунок додавання до інтегрованого значення кодового опису, отриманого для послідовності апроксимуючих величин, елементів масиву довжин апертур.

Отже, для додаткового скорочення кодової надмірності пропонується проводити спільне формування кодового опису на основі двох складових. Двокомпонентний код формується у результаті злиття коду апроксимуючих величин апертур і зважених елементів їх довжин. Це приводить до того, що крім додаткового підвищення ступеня стиснення відеоданих ще й скорочується час на відновлення зображень.

Для того щоб досягти зменшення інтегрованої структурної надлишковості, враховуючи особливості масивів апроксимуючих величин, пропонується здійснювати їх порядкову обробку.

В свою чергу порядкова обробка масивів апроксимуючих величин:

– створює можливість для виявлення додаткових структурних закономірностей, обумовлених нерівномірністю сусідніх елементів;

– дозволяє скоротити кількість операцій для визначення кількості елементів, для яких формується перша частина двокомпонентного коду (ДК) в процесі відбору елементів для формування складових узагальненого коду на основі відповідно елементів масиву апроксимуючих величин і масивів довжин апертур.

Порядкова обробка координатно-структурної складової забезпечує можливість для врахування обмеженості динамічних діапазонів.

За умовою формування апертурного опису зображення допускається, що апертура містить елементи відеоданих, які відрізняються один від одного в деякому діапазоні. Це призводить до розмноження помилок, в результаті чого погіршується якість відновлених зображень. Отже, для забезпечення заданого рівня достовірності необхідно здійснювати обробку масивів апертурного опису зображення без внесення похибки [2 – 5].

Треба отримати кодовий вираз  $F_c\{\Delta H_{m,n}^{(i,1)}; W(h)\}$ , а саме:  $E(h)_{m,n}^{(1,1)} = F_c\{\Delta H_{m,n}^{(1,1)}; W(h)\}$ ;

при таких обмеженнях:

$$\begin{cases} h_{i,j} \leq w(h)_i - \text{sign}(j-1) = h_{i,\max} - h_{i,\min} + 1 - \text{sign}(j-1); \\ h_{i,\max} = \max_{1 \leq j \leq n} \{h_{i,j}\} + 1; \quad h_{i,\min} = \min_{1 \leq j \leq n} \{h_{i,j}\}; \\ h_{i,j} \neq h_{i+\text{sign}(1-(\text{sign}(n-j))),1+j(\text{sign}(n-j))}, \\ j = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, m}, \end{cases}$$

де  $\Delta H_{m,n}^{(1,1)}$  – масив апроксимуючих величин;  $W(h)$  – вектор обмежень на динамічні діапазони елементів у рядках масиву  $\Delta H_{m,n}^{(1,1)}$ ;  $E(h)_{m,n}^{(1,1)}$  – кодовий опис масиву  $\Delta H_{m,n}^{(1,1)}$ .

Необхідно розглядати процес кодування адаптивного позиційного числа як формування кодів для окремих рядків масиву апроксимуючих величин, які є одновимірними адаптивними позиційними числами з нерівними сусідніми елементами [6].

Визначення величини коду  $E(h)_{i,n}^{(i,1)}$  для  $i$ -го рядка масиву  $\Delta H_{m,n}^{(1,1)}$  апроксимуючих величин, що розглядається як адаптивне одномірне позиційне число

з нерівними сусідніми елементами, обчислюється за формулою:

$$E(h)_{i,n}^{(i,1)} = \sum_{j=1}^n \Delta V(h)_{m,n}^{(i,j)} = \sum_{j=1}^n (h_{i,j} - \text{sign}(1 - \text{sign}(h_{i,j-1} - h_{i,j}))) (w(h)_i - 1)^{n-j}$$

$$\begin{cases} h_{i,j} < h_{i,\max} - h_{i,\min} + 1 - \text{sign}(j-1); \\ h_{i,\max} = \max_{1 \leq j \leq n} \{h_{i,j}\} + 1; \quad h_{i,\min} = \min_{1 \leq j \leq n} \{h_{i,j}\}; \\ h_{i,j} \neq h_{i+\text{sign}(1-(\text{sign}(n-j))),1+j(\text{sign}(n-j))}, \\ j = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, m}. \end{cases}$$

Звідси можна зробити висновок, що:

- 1) здійснюється формування коду для рядка масиву апроксимуючих величин, що розглядається як адаптивне одномірне позиційне число з обмеженим динамічним діапазоном і нерівністю сусідніх елементів;
- 2) виключається надмірна кількість позиційних чисел, які містять рівні сусідні елементи;
- 3) усувається кількість заборонених послідовностей на довільному кроці обробки, включаючи кількість надлишкових послідовностей.

Початкове значення ДК  $E(h)_{i,j}^{(i,\gamma)}$  формується на базі

елементів рядка масиву  $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ , що розглядаються як адаптивне одномірне позиційне число з нерівними сусідніми елементами.

Величина  $E(h)_{i,j}^{(i,\gamma)}$  визначається за формулою

$$E(h)_{i,j}^{(i,\gamma)} = \sum_{\phi=\gamma}^j (h_{i,\phi} - \text{sign}(1 - \text{sign}(h_{i,\phi-1} - h_{i,\phi}))) (w(h)_i - 1)^{j-\gamma+1-\phi}$$

де  $(i,\gamma)$ ,  $(i,j)$  – координати відповідно початкового і кінцевого елементів  $i$ -го рядка, на базі яких формується ДК.

Порядкова обробка масивів апроксимуючих величин апертур дозволяє скоротити обчислювальні витрати для визначення кількості елементів  $v(h)_i$ , і проводити процес кодування за один прохід.

У разі наявності надлишкових розрядів, тобто  $\Delta D \neq 0$ , формування другої компоненти ДК проводиться на базі елементів поточного  $\alpha$ -го рядка масиву  $\Delta L_{m,n}^{(v)}$  довжин апертур.

Побудова спільного двокомпонентного коду здійснюється в чотири етапи.

На першому етапі формується координатно-структурна і порядково-масштабна складова фрагмента зображення.

Виявлення апертур проводиться по рядках кадру у напрямку рядкової розгортки. Використовується умова  $x_{\xi,\gamma+r} \in [b(\min)_{\xi}; b(\max)_{\xi}]$ ,  $r=0, \ell_{\xi}-1$ , де  $\ell_{\xi}$  – довжина поточної апертури;  $b(\min)_{\xi}$ ,  $b(\max)_{\xi}$  –

значення відповідно нижнього і верхнього краю ( $\xi$ ) -ї апертури, які залежать від висоти  $b$  апертури. В протилежному випадку, коли  $x_{\xi, \ell_{\xi}} \notin [b(\min)_{\xi}; b(\max)_{\xi}]$ , то починає будуватися наступна апертура. Виявлення апертур закінчується тоді, коли оброблений останній елемент  $x_{Z_{lin}, Z_{col}}$  кадру зображення.

Створення масивів  $\Delta H_{m,n}^{(v)}$  та  $\Delta L_{m,n}^{(v)}$  проводиться у напрямку рядків, що дозволяє виявити додаткові структурні закономірності та забезпечити потенційну можливість для усунення надлишковості.

Цілісність реконструкції фрагмента зображення на основі структурної і масштабною складових досягається рівністю розмірів масивів  $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ ,  $\Delta L_{m,n}^{(v)}$  і однозначним порядком їх утворення. Це дозволяє виключити необхідність використання додаткових службових даних і часову затримку для позиціонування апертур та фрагментів зображення.

На другому етапі визначаються підстави елементів масивів  $\Delta H_{m,n}^{(v)}$  і  $\Delta L_{m,n}^{(v)}$ , які розглянуті відповідно як адаптивне позиційне число з нерівними сусідніми елементами і позиційне число. Виконуються такі дії:

1) для формування системи підстав  $W(h)$ ,  $W(h) = \{w'(h)_i\}$ ,  $i=1, m$  елементів АПЧ з нерівними сусідніми елементами

$$w'(h)_i = w(h)_i - \text{sign}(j-1) = h_{i, \max} - h_{i, \min} + 1 - \text{sign}(j-1),$$

$$h_{i, \max} = \max_{1 \leq j \leq n} \{h_{i, j}\} + 1; \quad h_{i, \min} = \min_{1 \leq j \leq n} \{h_{i, j}\};$$

2) для системи підстав  $W(\ell)$ ,  $W(\ell) = \{w(\ell)_i\}$ ,  $i=1, m$  елементів ПЧДП

$$w(\ell)_{ij} = \ell_{\max} - \ell_{\min} + 1 = w(\ell),$$

$$\ell_{\max} = \max_{\substack{1 \leq j \leq n \\ 1 \leq i \leq m}} \{\ell_{i, j}\} + 1; \quad \ell_{\min} = \min_{\substack{1 \leq j \leq n \\ 1 \leq i \leq m}} \{\ell_{i, j}\}.$$

На третьому етапі організується оцінка кількості елементів  $v(h, i)_{\xi}$  і  $v(\ell)_{\xi}$  двохкомпонентних складових для побудови узагальненого коду. Довжина  $D_{\text{нec}}$  кодового слова для побудови поточного двокомпонентного коду вважається заданою. За умовою формування ДК вибір першої складової на основі побудови коду проводиться для елементів одного рядка масиву  $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ . Звідси  $v(h, i)_{\xi} = [D_{\text{нec}} / \log_2(w(h)_i - 1)]$ .

Друга складова формується на основі кодового опису елементів масиву  $\Delta L_{m,n}^{(v)}$ , розташованих в

загальному випадку на різних рядках. Тому величина  $v(\ell)_{\xi}$  визначається за такою технологією:

1. Знаходиться загальна кількість елементів масиву апертурно-координатної складової. Для цього використовується формула:

$$v(\ell)_{\xi} = [\Delta D / ([\log_2 w(\ell)] + 1)].$$

2. Знайдена кількість елементів  $v(\ell)_{\xi}$  розподіляється по рядках масиву довжин апертур. При цьому враховується, що довжина рядка рівна  $n$ , а позиція першого елемента  $(\alpha; \gamma)$ . Тоді такий розподіл полягає в отриманні кількості повних рядків і кількості  $v(\ell)_{\xi}$  елементів  $j$ , в останній включаються рядки масиву довжин апертур, на які поширюється кількість  $v(\ell)_{\xi}$ . Для цього виконуються такі етапи:

1) якщо  $v(\ell)_{\xi} > n - \gamma + 1$ , то величина  $v(\ell)_{\xi}$  перевищує кількість вільних елементів у поточному  $\alpha$ -му рядку і потрібно оцінити кількість повних рядків. В іншому випадку кількість необхідних додаткових елементів буде належати поточному  $\alpha$ -му рядку, і остання позиція буде визначатися як  $(\alpha; \gamma + v(\ell)_{\xi} + 1)$ ;

2) визначаємо кількість  $\beta$  повних рядків за формулою

$$\beta = \left[ \frac{v(\ell)_{\xi} - n + \gamma - 1}{n} \right];$$

3) якщо  $\beta n < v(\ell)_{\xi} - n + \gamma - 1$ , то обчислюємо кількість  $j$  елементів у  $(\beta + 1)$ -му рядку, тобто

$$j = \beta n - \left[ \frac{v(\ell)_{\xi} - n + \gamma - 1}{n} \right] n.$$

В результаті отримуємо розподіл загальної кількості  $v(\ell)_{\xi}$  додаткових елементів масиву довжин апертур по рядках, а саме:  $v(\ell)_{\xi} = (n - \gamma + 1) + \beta n + j$ .

У підсумку отримуємо кількість  $v(h, i)_{\xi}$  елементів масиву апроксимуючих величин апертур і кількість  $v(\ell)_{\xi}$  елементів масивів довжин апертур, що беруть участь в утворенні двокомпонентного коду. При цьому виконується узагальнена нерівність

$$[\log_2 \left( (w(h)_i - 1)^{v(h, i)_{\xi}} w(\ell)^{(n - \gamma + 1) + \beta n + j} \right)] + 1 \leq D_{\text{нec}}.$$

На четвертому етапі здійснюється побудова ДК. Перша кодова складова  $E(h)_{i, \gamma + v(h, i)_{\xi} - 1}^{(i, \gamma)}$ , яка формується на основі  $v(h, i)_{\xi}$  елементів рядка масивів апроксимуючих величин, буде дорівнювати

$$E(h)_{i,\gamma+v(h,i)\xi-1}^{(i,\gamma)} = \\ = \sum_{j=\gamma}^{\gamma+v(h,i)\xi-1} (h_{i,j} - \text{sign}(1 - \text{sign}(h_{i,j-1} - h_{i,j}))) \times \\ \times (w(h)_i - 1)^{v(h,i)\xi + \gamma - 1 - j}.$$

Структура коду для формування ДК на основі першої компоненти задається таким виразом:

$$E(h; \ell)_{\xi} = E(h)_{i,\gamma+v(h,i)\xi-1}^{(i,\gamma)} w(\ell)^{(n-\gamma+1) + \beta n + j} + \Delta E(\ell)_{\alpha+\beta+1,\tau}^{(\alpha,\gamma)},$$

де  $V(\ell)_{\alpha+\beta+1,\tau}^{(\alpha,\gamma)} = w(\ell)^{(n-\gamma+1) + \beta n + \tau}$  – ваговий коефіцієнт першої компоненти  $E(h)_{i,\gamma+v(h,i)\xi-1}^{(i,\gamma)}$  двокомпонентного коду.

Тут величина  $V(\ell)_{\alpha+\beta+1,\tau}^{(\alpha,\gamma)}$  – визначається як накопичене добутку підстав елементів масиву довжин апертур, починаючи з підстави елемента на позиції  $(\alpha; \gamma)$  і закінчуючи підставою елемента на позиції  $(\alpha + \beta + 1; \tau)$ .

При цьому забезпечується виконання таких нерівностей:

$$\Delta E(\ell)_{\alpha+\beta+1,\tau}^{(\alpha,\gamma)} < V(\ell)_{\alpha+\beta+1,\tau}^{(\alpha,\gamma)};$$

$$[\log_2((w(h)_i - 1)^{v(h,i)\xi} w(\ell)^{(n-\gamma+1) + \beta n + j})] + 1 \leq D_{\text{пес}}.$$

Отже, здійснюється формування двокомпонентного коду на базі нерівнозначного внеску елементів масиву апроксимуючих величин апертур та елементів масиву довжин апертур.

Таким чином, розроблена організація виконання кодуєчих дій, яка дозволяє додатково скоротити час на стиснення зображень за рахунок:

– скорочення кількості звернень до ВЗУ, оскільки у міру отримання масивів довжин апертур і апроксимуючих величин апертур для них відразу обчислюється ДК;

– обчислення додаткового значення ДК, що здійснюється одночасно з формуванням його початкових значень;

– відсутності необхідності здійснювати пошук і вибір зон відповідності масивів довжин апертур і масивів апроксимуючих величин апертур.

Крім того, додатково знижується об'єм ВЗУ, необхідний для зберігання проміжних результатів стиснення зображень. Це обумовлено тим, що ДК займають менший об'єм, ніж масиви довжин апертур і масиви апроксимуючих величин.

### 3. Новими науковими результатами є:

1) математична модель оцінки інформативності апертурного опису зображень в умовах контрольованих похибок. Відмінна характеристика моделі полягає у тому, що враховується надмірність множини позиційних чисел, які формуються на базі структурного опису порядково-масштабної складової. Це дозволяє обґрунтувати нижню межу ефективності процесу скорочення надмірності;

2) метод кодування на основі позиційного представлення порядково-масштабної складової апертурного опису. Відмінна риса методу полягає в тому, що процес кодування враховує структурні особливості, а саме нерівність сусідніх елементів порядково-масштабної складової. Це дозволяє підвищити ступінь стиснення апертурного опису без внесення втрати інформації;

3) метод стиснення на основі двокомпонентного подання апертурних складових. Відмінна характеристика методу полягає в тому, що рівномірне кодове подання формується на основі нарощування коду-номера адаптивного позиційного числа на основі елементів нерівномірно-структурної складової. Це дозволяє знизити затримку передачі компактно представлених відеоданих в телекомунікаційних системах.

**Література:** 1. Баранник В.В. Технологическая концепция обработки базовых кадров для снижения интенсивности кодового представления / В.В. Баранник, О.Ю. Отман Шади // Радиоэлектронные и компьютерные системы. 2014. № 4. С. 25–31. 2. Баранник В.В. Методологические рекомендации по совершенствованию технологии снижения интенсивности кодового представления базовых кадров / В.В. Баранник, Отман Шади О.Ю., А.А. Подорожнюк // Системы обработки информации. 2014. № 8(124). С. 87–93. 3. Баранник В.В. Метод селекции кадрового потока в системах критического аэромониторинга для повышения безопасности государственного информационного ресурса / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха, С.С. Бульба // Авиационно-космическая техника и технологии. 2015. № 3. С. 111–118. 4. Баранник В.В. Концептуальный метод повышения безопасности дистанционного видеoinформационного ресурса в системе аэромониторинга кризисных ситуаций на основе интеллектуальной обработки видеокadres / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха // Радиоэлектронные компьютерные системы. 2015. № 3. С. 19–21. 5. Баранник В.В. Метод повышения информационной безопасности в системах видеомониторинга кризисных ситуаций / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха // Монография. Черкассы, 2015. 143 с. 6. Баранник В.В. Методология совершенствования обработки видеoinформации, для повышения эффективности сервиса предоставления дистанционных видео-

услуг, при управленні в кризових ситуаціях / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха, А.А. Красноручкий, В.Ж. Яценко // АСУ и приборы автоматки. 2015. №170. С. 12–20. **7. Баранник В.В.** Метод підвищення доступності відеоінформації аеромоніторинга / В.В. Баранник, О.С. Кулиця // Радиоэлектронные и компьютерные системы. 2013. №3. С. 17–20. **8. Баранник В.В.** Модель загроз безпеки відеоінформаційного ресурсу систем відеоконференцзв'язку. / А.В. Власов, В.В. Баранник, Р.В.Тарнополов // Наукоємні технології. 2014. № 1 (21). С. 55–60. **9. Баранник В.В.** Обоснование значимых угроз безопасности видеоинформационного ресурса систем видеоконференцсвязи профильных систем управления / В.В. Баранник, А.В. Власов, С.А. Сидченко, А.Э. Бекиров // Информационно-управляющие системы на ЖД транспорте. 2014. №3. С. 24–31. **10. Баранник В.В.** Селективный метод шифрования видеопотока в телекоммуникационных системах на основе приховування базового I-кадру / В.В. Баранник, Д.І. Комолов, Ю.М. Рябуха // Наукоємні технології. 2015. № 2. С. 14–23. **11. Barannik V.V.** The model of avalanche-relating effect in the process of images reconstruction in the combined cryptosemantic systems on the polyadic presentation / V.V. Barannik V.V. Larin, S.A. Sidchenko // Наукоємні технології. 2010. №1(5). С. 68–70.

#### Transliterated bibliography:

**1. Barannik V.V.** Tehnologicheskaja koncepcija obrabotki bazovyh kadrov dlja snizhenija intensivnosti kodovogo predstavlenija / V.V. Barannik, O.Ju. Otman Shadi // Radioelektronnye i komp'juternye sistemy. 2014. # 4. S. 25–31.  
**2. Barannik V.V.** Metodologicheskie rekomendacii po sovershenstvovaniju tehnologii snizhenija intensivnosti kodovogo predstavlenija bazovyh kadrov / V.V. Barannik, Otman Shadi O.Ju., A.A. Podorozhnyak // Sistemi obrobki informacii. # 8(124). 2014. S. 87–93.  
**3. Barannik V.V.** Metod selekcii kadrovogo potoka v sistemah kriticheskogo ajeromonitoringa dlja povyshenija bezopasnosti gosudarstvennogo informacionnogo resursa / V.V. Barannik, Ju.N. Rjabuha, S.S. Bul'ba // Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologi. # 3. 2015. S. 111–118.  
**4. Barannik V.V.** Konceptual'nyj metod povyshenija bezopasnosti dis-tancionnogo videoinformacionnogo resursa v sisteme ajeromonitoringa krizisnyh situacij na osnove intelektual'noj obrabotki videokadrov / V.V. Barannik, Ju.N. Rjabuha // Radioelektronnye komp'juternye sistemy. 2015. # 3. S. 19–21.  
**5. Barannik V.V.** Metod po-vyshenija informacionnoj bezopasnosti v sistemah videomonitoringa krizisnyh situacij / V.V. Barannik, Ju.N. Rjabuha // Monografija. Cherkassy, 2015. 143 s.  
**6. Barannik V.V.** Metodologija sovershenstvovanija obrabotki videoinformacii, dlja povyshenija jeffektivnosti servisa predostavlenija distancionnyh video-uslug, pri upravlenii v krizisnyh situacijah / V.V. Barannik, Ju.N. Rjabuha, A.A. Krasnoruckij, V.Zh. Jashhenok // ASU i pribory avtomatki. #170. 2015. S. 12–20.  
**7. Barannik V.V.** Metod povyshenija dostupnosti videoinformacii aeromonitoringa / V.V. Barannik, O.S. Kulica //Radioelektronnye i komp'juternye sistemy. #3. 2013. S. 17-20.

**8. Barannik V.V.** Model' zagroz bezpeki videoinformacionnogo resursu sistem videokonferencz'jazku / A.V. Vlasov, V.V. Barannik, R.V.Tarnopolov // Naukoemni tehnologii. 2014. # 1 (21). S. 55–60.

**9. Barannik V.V.** Obosnovanie znachimyh ugroz bezopasnosti videoinformacionnogo resursa sistem videokonferencsvjazi profil'nyh sistem upravlenija / V.V. Barannik, A.V. Vlasov, S.A. Sidchenko, A.Je. Bekirov // Informacionno-upravljajushhie sistemy na ZhD transporte. 2014. #3. S. 24–31.

**10. Barannik V.V.** Selektivnij metod shifruvanja videopotiku v telekomunikacijnih sistemah na osnovi prihovuvannja bazovogo I-kadru / V.V. Barannik, D.I. Komolov, Ju.M. Rjabuha // Naukoemni tehnologii. # 2. 2015. S. 14–23.

**11. Barannik V.V.** The model of avalanche-relating effect in the process of images reconstruction in the combined cryptosemantic systems on the polyadic presentation / V.V. Barannik, V.V. Larin, S.A. Sidchenko // Наукоємні технології. 2010. #1(5). S. 68–70.

Надійшла до редколегії 11.03.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

**Додух Олександр Миколайович**, канд. техн. наук, викладач Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. Наукові інтереси: системи, технології перетворення, кодування та передачі інформації. Адреса: Україна, 61023, Харків, вул. Сумська, 77/79, тел. +380501950998.

**Хіменко Вікторія Вікторівна**, пошукач ХНУРЕ. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14.

**Мачалін Ігор Олексійович**, д-р техн. наук, проф., директор інституту НАУ. Адреса: Україна, 03058, Київ, пр. Космонавта Комарова, 1.

**Тарасенко Денис Анатолійович**, пошукач Черкаського державного технологічного університету. Адреса: Україна, 18000, Черкаси, бульвар Шевченка, 460.

**Dodukh Aleksandr Nikolaevich**, lecturer of the Department, Ivan Kozhedub Air Force University, [aleksandr.dodukh@gmail.com](mailto:aleksandr.dodukh@gmail.com).

**Khimenko Victoria**, PhD student KhNURE. Address: Ukraine, 61166, Kharkov, Nauki Ave, 14.

**Machalin Igor**, Dr of Sc, Prof., director of institute, National Airspace University. Address: Ukraine, 03058, Kiev, Kosmonavta Komarova Pr., 1.

**Tarasenko Denys**, PhD, Cherkasy State Technological University. Address: 460, Shevchenko Boulevard, Cherkassy, Ukraine, 18000.

## НЕЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ МНОГОПУТЕВОЙ МНОГОАДРЕСНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

МЕРСНИ А., ИЛЬЯШЕНКО А.Е.

В целях обеспечения оптимальной балансировки нагрузки в телекоммуникационной сети усовершенствуется потоковая модель многоадресной маршрутизации в направлении реализации многопутевой стратегии передачи пакетов. Предлагается исходный многоадресный поток разбивать на множество подпотоков, для каждого из которых строится оптимальное дерево – многоадресный маршрут. Задача многопутевой многоадресной маршрутизации представлена в оптимизационной форме, что способствует наиболее эффективной балансировке нагрузки в сети.

**Ключевые слова:** маршрутизация; модель; оптимальность; поток; сеть; балансировка.

**Key words:** routing; model; optimality; flow; network; balancing.

### 1. Введение

Многоадресная маршрутизация является неотъемлемым инструментом при предоставлении множества инфокоммуникационных услуг, среди которых IPTV, дистанционное обучение, рассылка почты, радио, видео по запросу, видеоконференцсвязь, а также рассылка разнообразной служебной информации о состоянии телекоммуникационной сети (ТКС) [1, 2]. В свою очередь, обеспечение высокого уровня качества обслуживания (Quality of Service, QoS) в ТКС по скоростным, временным показателям и показателям надежности во многом зависит от эффективности балансировки нагрузки в каналах связи и сети в целом. Поэтому важно, чтобы современные и перспективные протокольные решения в области многоадресной маршрутизации, во-первых, поддерживали многопутевую стратегию передачи пакетов, во-вторых – учитывали потоковый характер сетевого трафика, в-третьих – оптимально использовали каналные ресурсы ТКС.

В работах [3-7] предложено ряд подходов, в которых с разной степенью полноты предпринята попытка удовлетворить перечисленные требования без существенного усложнения алгоритмического и программного обеспечения маршрутизаторов ТКС. Особого внимания заслуживает подход, изложенный в статье [6] и развитый в [7], в котором задача многоадресной маршрутизации описана линейной потоковой моделью, а расчет маршрутных переменных осуществлен в ходе решения оптимизационной задачи булевого программирования.

Однако данное решение больше ориентировано на реализацию однопутевой многоадресной маршрутизации (ОММ) для каждого потока в отдельности, что несколько снижает его адаптивность, особенно в условиях наличия потоков высокой интенсивности и ограниченности каналного ресурса ТКС. Поэтому в данной работе в целях обеспечения оптимальной балансировки нагрузки в телекоммуникационной сети предлагается решение актуальной научной задачи, связанной с усовершенствованием потоковой модели многоадресной маршрутизации в направлении реализации многопутевой стратегии передачи пакетов

### 2. Модель многопутевой многоадресной маршрутизации в телекоммуникационной сети

Пусть структура ТКС представляется ориентированным взвешенным графом  $G = (V, E)$ . Тогда  $V = \{v_1, \dots, v_i, \dots, v_m\}$  – множество вершин, моделирующее маршрутизаторы ТКС;  $(i, j) \in E$  – множество дуг графа, описывающее каналы связи сети [3-7]. Для каждой дуги вводится ее вес  $\varphi_{(i,j)}$ , который характеризует пропускную способность моделируемого канала связи (КС). Тогда число каналов в сети соответствует  $|E| = n$ .

Введем следующие обозначения:  $K$  – множество циркулирующих в сети многоадресных потоков пакетов;  $|K| = \bar{K}$  – общее число потоков в сети;  $r_k$  – средняя пакетная скорость (интенсивность)  $k$ -го потока на входе в сеть ( $1/c$ );  $s_k$  – маршрутизатор-источник пакетов  $k$ -го потока ( $k \in K$ );

$$d_k^* = \{d_k^1, d_k^2, \dots, d_k^{m_k}\} \quad (1)$$

– множество маршрутизаторов-получателей пакетов для  $k$ -го многоадресного потока;  $m_k$  – общее число таких маршрутизаторов.

Для реализации многопутевой стратегии маршрутизации каждый многоадресный поток на входе в сеть, т.е. на приграничном маршрутизаторе  $s_k$  будет разделен на ряд подпотоков  $w_k$ . Тогда каждый  $p$ -й подпоток  $k$ -го потока будет иметь интенсивность ( $1/c$ )

$$z_k^p = y_k^p \cdot r_k, \quad (2)$$

где  $y_k^p$  ( $p = \overline{1, w_k}, k = \overline{1, \bar{K}}$ ) – множество управляющих потоковых переменных, каждая из которых характеризует долю  $k$ -го потока, образующего  $p$ -

й подпоток. Тогда на потоковые переменные  $y_k^p$  накладываются ограничения вида

$$0 \leq y_k^p \leq 1. \quad (3)$$

Для определения многоадресного маршрута для каждого  $p$ -го подпотока  $k$ -го потока необходимо рассчитать множество булевых переменных вида

$$x_{(i,j)}^{p,k} \in \{0;1\}. \quad (4)$$

При этом маршрутная переменная  $x_{(i,j)}^{p,k}$  равна единице, если  $p$ -й подпоток  $k$ -го потока протекает по каналу  $(i, j) \in E$ , и нулю – в противном случае.

При обеспечении доставки пакетов  $p$ -го подпотока  $k$ -го многоадресного потока для всех маршрутизаторов-получателей вводятся условия вида [6, 7]

$$\sum_{i:(i,j) \in E} x_{(i,j)}^{p,k} = 1 \text{ при } v_j \in d_k^*. \quad (5)$$

Для маршрутизатора-отправителя  $p$ -го подпотока  $k$ -го потока также необходимо ввести условие

$$\sum_{j:(i,j) \in E} x_{(i,j)}^{p,k} \geq 1 \text{ при } v_i = s_k, \quad (6)$$

выполнение которого позволяет отправителю маршрутизировать пакеты  $p$ -го подпотока  $k$ -го потока одновременно на несколько соседних маршрутизаторов, но не менее, чем на один.

В целях обеспечения связности рассчитываемых многоадресных маршрутов для каждого  $g$ -го интерфейса транзитного маршрутизатора  $v_j \in V$ , в качестве которого может выступать любой маршрутизатор, кроме отправителя, вводятся следующие условия [6, 7]:

$$\sum_{i:(i,j) \in E} x_{(i,j)}^{p,k} \geq x_{(j,g)}^{p,k} \text{ при } v_j \notin s_k. \quad (7)$$

Для исключения образования петель при передаче пакетов  $p$ -го подпотока  $k$ -го потока на маршрутные переменные накладываются условия

$$\sum_{(i,j) \in E_\pi^q} x_{(i,j)}^{p,k} < |E_\pi^q|, \quad (8)$$

где  $E_\pi^q$  – множество дуг графа, образующих  $q$ -й контур ( $\pi$ );  $|E_\pi^q|$  – число дуг в  $q$ -м контуре сети. Количество условий (8) соответствует числу воз-

можных контуров на графе  $G$  в ТКС в соответствии с ориентацией его дуг [6, 7].

Чтобы не допустить перегрузку каналов связи ТКС, в модель вводятся условия следующего вида:

$$\sum_{k \in K} \sum_{p=1}^{w_k} x_{(i,j)}^{p,k} \cdot r_k \cdot y_k^p \leq \alpha \cdot \varphi_{i,j}. \quad (9)$$

В левой части неравенств (9) представлена билинейная форма от введенных управляющих переменных – потоковых ( $y_k^p$ ) и маршрутных ( $x_{(i,j)}^{p,k}$ ), а в правой части введена также подлежащая расчету переменная

$$0 \leq \alpha \leq 1, \quad (10)$$

которая численно характеризует верхний порог использования каналов связи ТКС в целом [5]. Для обеспечения оптимальной балансировки нагрузки при многопутевой маршрутизации многоадресных потоков именно минимум значения этой переменной выступает в качестве критерия оптимальности [5], т.е.

$$\alpha \rightarrow \min. \quad (11)$$

Таким образом, в рамках представленной модели (1)-(11) задача многопутевой многоадресной маршрутизации в ТКС была сведена к задаче смешанного нелинейного целочисленного программирования (Mixed Integer Nonlinear Programming, MINLP). Это обосновано тем, что критерий (11) и ограничения (1)-(8), (10) линейны, маршрутные переменные  $x_{(i,j)}^{p,k}$  булевы, потоковые переменные  $y_k^p$  и переменная балансировки  $\alpha$  вещественны, а условия-ограничения (9) нелинейные.

### 3. Исследование предложенной модели многопутевой многоадресной маршрутизации

Проведено исследование предложенной усовершенствованной модели многопутевой многоадресной маршрутизации (1)-(11) с точки зрения влияния числа и характеристик потоков ( $\bar{K}$ ) и подпотоков ( $w_k$ ) на эффективность балансировки нагрузки, оцениваемой по значению критерия (11).

В качестве примера рассмотрим структуру ТКС, приведенную на рис. 1. В разрывах каналов связи указаны их пропускные способности. Рассматривался вариант, когда в сети передавались пакеты двух многоадресных потоков с интенсивностями  $r_1$  и  $r_2$  соответственно. При этом для первого потока источником выступал маршрутизатор  $v_1$ , а получа-



телями –  $d_1^* = \{v_4, v_5\}$ ; для второго потока источником был маршрутизатор  $v_3$ , а получателями –  $d_2^* = \{v_2, v_4, v_5\}$ .

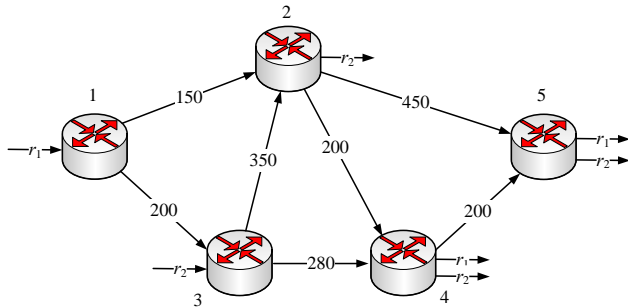


Рис. 1. Пример анализируемой структуры ТКС

Рассматривалось множество вариантов исходных данных, в рамках которых сравнивалась эффективность балансировки нагрузки по критерию (11) при однопутевой [6] и многопутевой многоадресной маршрутизации (МММ) (табл. 1). Исходные данные отличались значениями интенсивностей входных потоков  $r_1$  и  $r_2$ , что отражалось на получаемых результатах расчетов, представленных формируемым числом подпотоков для каждого потока и значениями критерия (11). Выигрыш МММ в получаемых значениях критерия (11) по сравнению с ОММ также представлен в табл. 1 в виде параметра  $\epsilon$ , выраженного в процентах.

Таблица 1. Результаты сравнительного анализа решений по балансировке нагрузки при ОММ и МММ

Номер варианта	$r_1$	$r_2$	$\alpha$		$\epsilon$
			ОММ	МММ	
1	50	50	0,25	0,2083	16,7
2	100	50	0,5	0,3125	37,5
3	50	100	0,3571	0,3125	12,5
4	100	100	0,5	0,4167	16,7
5	150	100	0,75	0,5208	30,6
6	100	150	0,6667	0,5208	21,9
7	150	150	0,75	0,625	16,7
8	180	150	0,9	0,6875	23,6
9	150	180			
10	180	180	0,9	0,75	16,7
11	200	180	1	0,7917	20,8
12	180	200			
13	200	200	1	0,8333	16,7

Как показали результаты сравнительного анализа, применение предложенной модели (1)-(10) позволяет улучшить балансировку в сети по критерию (11) по сравнению с однопутевой многоадресной маршрутизацией [6] в среднем от 17 до 25%. На эффективность балансировки влияло множество факторов, например, число потоков, загруженность и структура сети. В зависимости от загруженности сети улучшение степени балансировки нагрузки, как правило, способствует снижению средней задержки пакетов от 10-12 до 22-27%. Для наглядности в табл. 2 и на рис. 2 показаны результаты решения при однопутевой многоадресной маршрутизации для варианта исходных данных №12. На рис. 2 дерево маршрутов для первого потока показано сплошной линией, для второго потока – пунктирной, а в разрывах каналов связи указана интенсивность передаваемых потоков.

Таблица 2. Порядок балансировки нагрузки по каналам сети при однопутевой многоадресной маршрутизации для варианта исходных данных №12

Канал связи	Первый поток	Второй поток
	$r_1=180$ л/с	$r_2=200$ л/с
(1, 2)	0	0
(1, 3)	180	0
(2, 4)	0	200
(2, 5)	0	200
(3, 2)	0	200
(3, 4)	180	0
(4, 5)	180	0

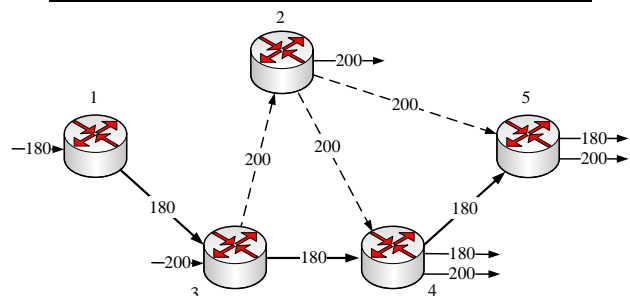


Рис. 2. Порядок однопутевой маршрутизации двух многоадресных потоков

В данном случае при однопутевой маршрутизации для обеспечения минимальной загруженности сети многоадресные пути по каналам связи не пересекались.

В табл. 3 показаны результаты решения при многопутевой многоадресной маршрутизации также для варианта исходных данных №12.



Таблица 3. Порядок балансировки нагрузки по каналам сети при многопутевой многоадресной маршрутизации для варианта исходных данных №12

Канал связи	Подпотoki первого потока			Подпотoki второго потока	
	$z_1^1$	$z_1^2$	$z_1^3$	$z_2^1$	$z_2^2$
(1, 2)	118,75	0		0	0
(1, 3)	0	39,58	21,67	0	0
(2, 4)	118,75	39,58		0	0
(2, 5)	118,75	39,58	21,67	0	176,250
(3, 2)	0	39,58	21,67	23,75	176,2500
(3, 4)	0	0	21,67	23,75	176,2500
(4, 5)	0	0		23,75	0

Таким образом, для получения оптимальных значений верхнего порога загруженности каналов сети в рамках предложенной модели (1)-(11) первый поток разбивался на три подпотока, второй – на два подпотока. При этом каждый из подпотоков маршрутизировался по каналам сети, способствуя их сбалансированной загруженности. На рис. 3 приведены многоадресные маршруты для подпотоков первого (рис. 3, а) и второго (рис. 3, б) потоков соответственно. При этом направления протекания первых подпотоков показаны сплошной, вторых подпотоков – прерывистой, а третьего подпотока – штрихпунктирной линией. Интенсивности подпотоков указаны в табл. 3 и для наглядности на рис. 3 не приведены.

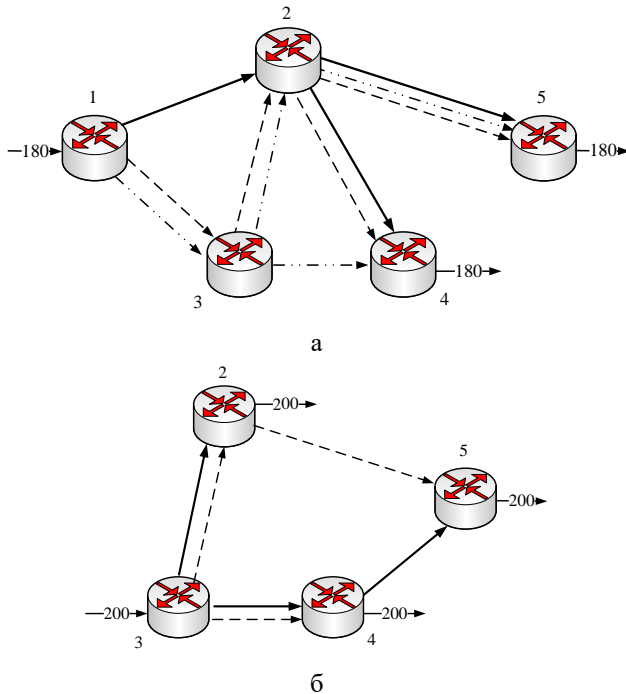


Рис. 3. Порядок маршрутизации подпотоков первого и второго многоадресного потока: а – деревья маршрутов для подпотоков первого потока; б – деревья маршрутов для подпотоков второго потока

При многопутевой многоадресной маршрутизации рассчитываемые пути могут и должны пересекаться для сбалансированной загруженности сети.

#### 4. Заключение

В целях обеспечения оптимальной балансировки нагрузки в телекоммуникационной сети усовершенствована потоковая модель многоадресной маршрутизации в направлении реализации многопутевой стратегии передачи пакетов. Новизной модели является то, что для реализации многопутевой стратегии маршрутизации предлагается исходный многоадресный поток разбивать на множество подпотоков, для каждого из которых строится оптимальное дерево – многоадресный маршрут. В рамках предложенной модели задача МММ представлена в виде оптимизационной задачи смешанного целочисленного нелинейного программирования, что способствует наиболее эффективной балансировке нагрузки в сети. Применение предложенной модели многопутевой многоадресной маршрутизации позволило улучшить верхний порог загруженности каналов связи сети в среднем от 17 до 25% по сравнению с однопутевым решением, что в зависимости от загруженности сети способствовало снижению средней задержки пакетов от 10-12 до 22-27%. Применение предлагаемой модели маршрутизации обеспечивало наибольшую эффективность при росте размерности сети, числа потоков и подпотоков в области средних и высоких нагрузок. При малой загруженности сети даже однопутевая маршрутизация обеспечивала приемлемый уровень качества обслуживания.

**Литература:** 1. *Williamson B.* Developing IP Multicast Networks. Cisco Press, 2000. 592 p. 2. *Rosenberg E.* A Primer of Multicast Routing. – Springer Briefs in Computer Science, 2012. – 117 p. 3. *Paul P., Raghavan S.V.* Survey of multicast routing algorithms and protocols // Proceedings of the Fifteenth International Conference on Computer Communication (ICCC 2002). 2002. P. 902-926. 4. *Oliveira C.A.S., Pardalos P.M.* A Survey of Combinatorial Optimization Problems in Multicast Routing // Computers and Operations Research. 2005. Vol. 32, Issue 8. P. 1953-1981. 5. *Seok Y., Lee Y., Choi Y., Kim C.* Dynamic Constrained Traffic Engineering for Multicast Routing // Proc. Wired Communications and Management. 2002. Vol. 2343. P. 278-288. 6. *Lemeshko, O.V., Arous, Kinan Mohamad.* The flow-based model of multicast routing // Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 2013 23rd International Crimean Conference. P. 523-524. 7. *Lemeshko O., Arous Kinan, A.wahhab Mohammed A.jabbar.* Multicast Fast Re-Route Schemes for Multiflow Case // Proceedings of XIIIth

International IEEE conference «The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics», CADSM'2015, 24-27 February 2015, Lviv-Poljana, Ukraine. Lviv Polytechnic Publishing House. P. 422-424.

**Транслитерированный список литературы:**

1. *Williamson B.* Developing IP Multicast Networks. Cisco Press, 2000. 592 p.
2. *Rosenberg E.* A Primer of Multicast Routing. Springer Briefs in Computer Science, 2012. 117 p.
3. *Paul P., Raghavan S.V.* Survey of multicast routing algorithms and protocols // Proceedings of the Fifteenth International Conference on Computer Communication (ICCC 2002). 2002. P. 902-926.
4. *Oliveira C.A.S., Pardalos P.M.* A Survey of Combinatorial Optimization Problems in Multicast Routing // Computers and Operations Research. 2005. Vol. 32, Issue 8. P. 1953-1981.
5. *Seok Y., Lee Y., Choi Y., Kim C.* Dynamic Constrained Traffic Engineering for Multicast Routing // Proc. Wired Communications and Management. 2002. Vol. 2343. P. 278-288.
6. *Lemeshko, O.V., Arous, Kinan Mohamad.* The flow-based model of multicast routing // Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 2013. 23rd International Crimean Conference. P. 523-524.
7. *Lemeshko O., Arous Kinan, A.wahhab Mohammed A.jabbar.* Multicast Fast Re-Route Schemes for Multiflow Case // Proceedings of XIIIth International IEEE conference «The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics», CADSM'2015, 24-27 February 2015, Lviv-Poljana, Ukraine. Lviv Polytechnic Publishing House. P. 422-424.

Поступила в редколлегию 11.05.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

**Мерсни Амаль**, аспирант кафедры систем информации, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт". Научные интересы: управление трафиком, качество обслуживания, балансировка нагрузки. Адрес: Украина, 61002, Харьков, ул. Кирпичева, 2, тел. +380631119555, e-mail: elmersniamal@gmail.com.

**Ильяшенко Андрей Евгеньевич**, аспирант кафедры инфокоммуникационной инженерии ХНУРЭ. Научные интересы: управление трафиком, качество обслуживания, балансировка нагрузки. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, тел. +380577021320, e-mail: andy.ilyashenko@gmail.com.

**Amal Mersni**, postgraduate student of the Department of Information systems, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute». Research interests: traffic management, Quality of Service, load balancing. Address: Ukraine, 61002, Kharkiv, Kyrpychova str., 2, Phone/fax: +380631119555, e-mail: elmersniamal@gmail.com.

**Andriy Pyashenko**, postgraduate student of the Department of Infocommunication Systems, Kharkiv National University of Radio Electronics. Research interests: traffic management, Quality of Service, load balancing. Address: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauka Ave., 14, Phone/fax: +380577021320, e-mail: andy.ilyashenko@gmail.com.

# СИСТЕМИ И ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 623.618

## ІНФОКОМУНІКАЦІЙНА СИСТЕМА МЕДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ЕКСТРЕНОЇ ЕВАКУАЦІЇ ПОРАНЕНИХ

КОЛАЧОВ С.П., ГУРЖІЙ П.М., МАСЕСОВ М.М., ГУРЖІЙ І.А.

Розглядається система медичного забезпечення та екстреної евакуації поранених, її призначення, склад, функції основних складових частин.

**Ключові слова:** медичне забезпечення, екстрена евакуація поранених.

**Key words:** medical care, emergency evacuation of wounded.

### 1. Вступ

Система медичного забезпечення та екстреної евакуації поранених призначена для підвищення оперативності управління силами та засобами медичної служби, приведення їх у готовність до виконання завдань за призначенням у повсякденній та бойовій діяльності, зменшення загального часу на евакуацію поранених, а також забезпечення своєчасного і повного надання необхідної медичної допомоги та лікування поранених.

**Мета** функціонування системи – забезпечення безперервного, стійкого та дієвого управління силами та засобами медичної служби, що задіяні у процесі евакуації (медичної евакуації) поранених та медичної допомоги.

### 2. Основна частина

Основою медичного забезпечення військ у воєн-

ний час є система лікувально-евакуаційних заходів щодо організації надання медичної допомоги пораненим, ураженим, постраждалим та хворим (далі – поранені), їх евакуації, лікування, реабілітації та призначених для цього сил і засобів медичної служби.

Лікувально-евакуаційні заходи включають розшук, збір та вивезення (вивезення) поранених з поля бою або вогнищ масових санітарних втрат (далі – поле бою), надання їм необхідних видів медичної допомоги: евакуацію, лікування та медичну реабілітацію.

Суть сучасної системи лікувально-евакуаційних заходів полягає в етапному лікуванні поранених з їх евакуацією за призначенням з використанням медичних підрозділів військових частин і з'єднань, мобільних і стаціонарних військово-медичних закладів та максимальним залученням існуючої мережі цивільних закладів охорони здоров'я (рис. 1). Система медичного забезпечення та екстреної евакуації поранених складається з таких основних підсистем:

- оповіщення про поранених;
- виявлення поранених;
- ідентифікація пораненого;
- телекомунікаційна;
- підтримка прийняття рішення;
- інформаційно-довідкова;
- геоінформаційна;
- захист інформації.

Розглянемо призначення перелічених підсистем.

**Підсистема оповіщення про поранених** призначена для інформування посадових осіб медичної служби підрозділу про отримання поранення шляхом формування запиту на евакуацію відповідно до Військового стандарту «Спільна об'єднана доктрина з медичної евакуації», який розроблено на основі стандарту НАТО STANAG 2546 - AJMedP-2 [1].

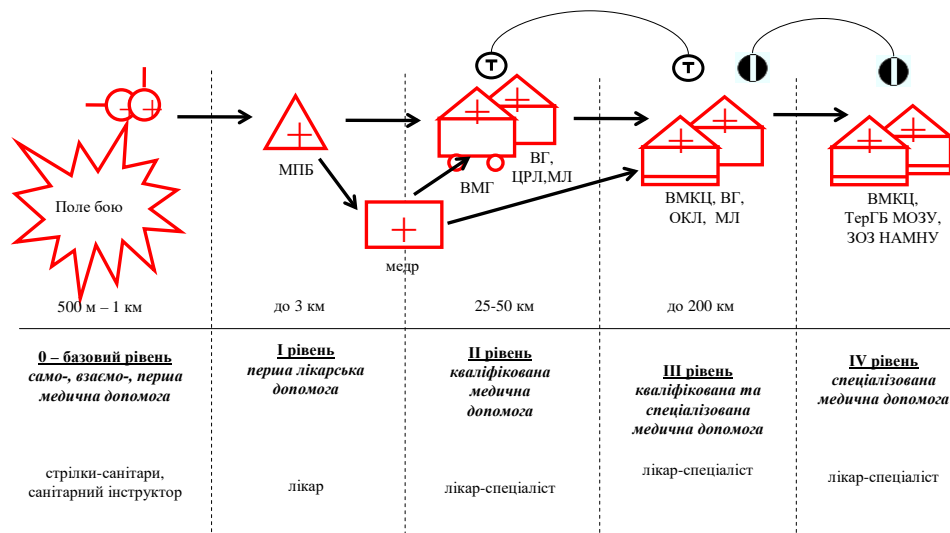


Рис.1. Схема лікувально-евакуаційних заходів

*Підсистема виявлення поранених* забезпечує: використання «маячків» військовослужбовців з вбудованими GPS та радіо-модулями для передачі координат місця отримання поранення;

пошук поранених санітаром за допомогою програмного забезпечення, яке встановлено на АРМ санітара, відповідно до отриманих від «маячка» координат.

*Підсистема ідентифікації пораненого* призначена для встановлення (підтвердження) особи пораненого, основних медичних показників (групи крові, хронічних захворювань, непереносимості медичних препаратів тощо) шляхом використання електронної ідентифікаційної картки бійця.

*Телекомунікаційна підсистема* призначена для створення єдиного телекомунікаційного простору для роботи системи, взаємодії підсистем шляхом використання наявних сил та засобів зв'язку.

*Підсистема підтримки прийняття рішення* призначена для скорочення часу та підвищення обґрунтованості прийняття рішень на застосування відповідних засобів, що використовуються в системі екстреної евакуації поранених на полі бою.

*Інформаційно-довідкова підсистема* призначена для інформаційної підтримки діяльності посадових осіб органів управління медичного забезпечення за рахунок надання їм довідкової інформації.

*Геоінформаційна підсистема* призначена для відображення рухомих та стаціонарних об'єктів медичного забезпечення, які беруть участь у екстреній евакуації поранених (технічних засобів евакуації, медичних пунктів підрозділів, польових шпиталів, закладів охорони здоров'я тощо) та координації їх дій.

*Підсистема захисту інформації* є сукупністю необхідних, взаємоузгоджених організаційних та інженерно-технічних заходів, засобів і методів технічного та криптографічного захисту інформації, достатніх для запобігання навмисним чи ненавмисним спробам блокування, порушення цілісності інформації, конфіденційності або нав'язуванню хибної інформації.

Мобільна складова системи складається з комплексів бойового екіпірування військовослужбовця, санітара, робочих місць водіїв МТЛБ, санітарної машини та реанімобіля.

Прототипом системи медичного забезпечення та екстреної евакуації поранених виступає інформаційна система розробки фірми Харрис. На відміну від прототипу розроблена система має у своєму складі підсистему підтримки прийняття рішення для визначення наряду сил та засобів для евакуації поранених.

При використанні інфокомунікаційної системи медичного забезпечення та екстреної евакуації поранених автоматизація охоплює весь процес евакуації пораненого військовослужбовця та полягає у наступному.

Отримавши поранення, військовослужбовець особисто, а у випадках неможливості – інший військовослужбовець повідомляє санітара про отримання поранення шляхом активації «маячка». Інформація про отримання поранення та місцезнаходження військовослужбовця потрапляє на комплекс бойового екіпірування санітара.

Отримавши інформацію про пораненого, санітар за допомогою сигналу активованого «маячка», використовуючи електронну карту, здійснює пошук пораненого на полі бою та евакує його до «гнізда», де надає йому невідкладну медичну допомогу. Після цього надає запит на евакуацію до оперативного чергового медичного пункту батальйону. Формат запиту на евакуацію відповідає запиту, що прийнятий та використовується у збройних силах країн-членів НАТО (за формою типу «9 ліній» стандарту НАТО STANAG 2546 — AJMedP-2) та містить таку інформацію: координати гнізда евакуації, частота і позивний, терміновість евакуації, необхідне обладнання, кількість пацієнтів тощо.

Оперативний черговий згідно з визначеним алгоритмом визначає необхідний розрахунок наряду сил та засобів для евакуації поранених до пункту сортування, разом з тим інформаційна система розраховує декілька можливих варіантів евакуації та надає їх для прийняття рішення посадовій особі в порядку пріоритету.

Після вибору одного з можливих варіантів оперативний черговий надає запит про готовність на евакуацію до транспортного засобу, а після підтвердження готовності до евакуації – видає наказ про евакуацію та повідомляє про місце розташування «гнізда» з пораненими.

Після евакуації поранених військовослужбовців до пункту сортування надається медична допомога та сповіщається оперативному черговому медичної роти батальйону про кількість поранених, характер отриманих ними поранень. Карта пораненого військовослужбовця має електронний вигляд та заповнюється за допомогою індивідуальної ідентифікаційної медичної картки військовослужбовця. У зазначеній картці зберігаються не тільки стандартні дані військовослужбовця (ПІБ, вік, вага, зріст, колір очей), перенесені хвороби, травми та поранення, а, що особливо важливо, наявність у пораненого протипоказань до деяких ліків. Передбачається, що зазначена картка буде видаватися війсь-

ковослужбовцю на початку служби та коректуватися на протязі її проходження.

Для доступу до інформації, яка занесена на індивідуальну ідентифікаційну медичну картку військовослужбовця, використовується звичайний смартфон (планшет) зі спеціалізованим програмним забезпеченням (рис. 2).



Рис.2. Індивідуальна ідентифікаційна медична картка військовослужбовця

Доступ до персональних даних пораненого військовослужбовця відбувається після ідентифікації та аутентифікації лікаря (санітара) за допомогою персональної ідентифікаційної картки лікаря (санітара). Окрім того, одночасно здійснюється реєстрація медичного працівника у системі та відбувається фіксація всіх дій та змін, які робить медпрацівник у медичній картці військовослужбовця. Картка пораненого військовослужбовця застосовується у аналогічних системах медичної евакуації поранених у збройних силах країн-членів НАТО та має назву TCCC (Tactical Combat Casualty Care – тактична допомога пораненим у бою) [2].

Отримавши карту пораненого військовослужбовця, оперативний черговий медичної роти бригади приймає рішення щодо вибору медичного закладу, куди повинен бути доставлений поранений, та транспортного засобу, який повинен бути задіяний для цього. Це пов'язано з тим, що при деяких типах поранення необхідний спеціалізований транспорт (наприклад, при пораненні в голову неможливо транспортувати пораненого повітряним транспортом).

Вибір шпиталю відбувається за таким алгоритмом: кожному типу поранення відповідає визначена група медичних препаратів, які необхідно застосувати при лікуванні, перелік відповідних фахівців (спеціалістів) та необхідного обладнання (наприклад, при пораненні в голову – потрібне втручання нейрохірурга, у легені – апарат штучного дихання). Вибір конкретного шпиталю здійснюється лише тоді, коли у медичному закладі наявні: необхідні лікарські засоби; фахівці; медичне обладнання; ліжко-місце. При визначенні медичного закла-

ду черговому надається декілька варіантів медичних закладів у порядку пріоритету, який визначається залежно від відстані до пункту сортування. Після вибору медичного закладу та транспортного засобу віддається наказ на евакуацію.

Спостереження за переміщенням транспортних засобів та координація дій евакуаційних бригад відбувається за допомогою геоінформаційних систем.

Кожен черговий медичної роти бригади має у своєму розпорядженні актуальну базу даних про всі типи поранення, транспортні засоби та медичні заклади, які оновлюються відповідно до визначеного регламенту, а також про всіх поранених у зоні відповідальності, військовослужбовців та їх місцезнаходження.

Для підвищення оперативності інформація з медичної картки військовослужбовця передається до медичного закладу, куди евакуюється поранений, що надає змогу завчасно підготувати необхідне обладнання, ліки, операційні, а також викликати визначених фахівців.

Про кількість і стан поранених (наявних та відправлених на евакуацію), а також потреби в евакуації здійснюється доповідь старшому начальнику медичної служби за формою і в терміни, визначені відповідними керівними документами.

Алгоритм дій начальників (чергових) медичної служби вищих ланок управління – аналогічний роботі начальника (чергового) медичної служби військової частини і відрізняється об'ємом організації та здійснення адміністративних заходів.

Начальником (черговим) стаціонарного (мобільного) військового або цивільного закладу охорони здоров'я здійснюються заходи щодо оперативного управління силами і засобами евакуації, ведення локальних баз даних про можливості медичного забезпечення (кількість вільних ліжок, наявність ліків та лікарів тощо), а також доповіді керівнику про стан медичного забезпечення у закладі.

Начальником ЦВМУ ЗСУ здійснюється загальне управління та координація дій силами і засобами медичного забезпечення Збройних Сил, а також взаємодія з іншими міністерствами з метою додаткового замовлення транспорту для потреб медичної евакуації. На рівні ПАК начальника ЦВМУ ЗСУ здійснюється розгортання та ведення централізованої бази даних, яка забезпечує функціонування всієї системи медичної допомоги та екстреної евакуації поранених.

Порядок проходження інформації за напрямками між службовими особами, що беруть участь у процесі евакуації та медичного забезпечення поранених військовослужбовців, представлено на рис. 3.



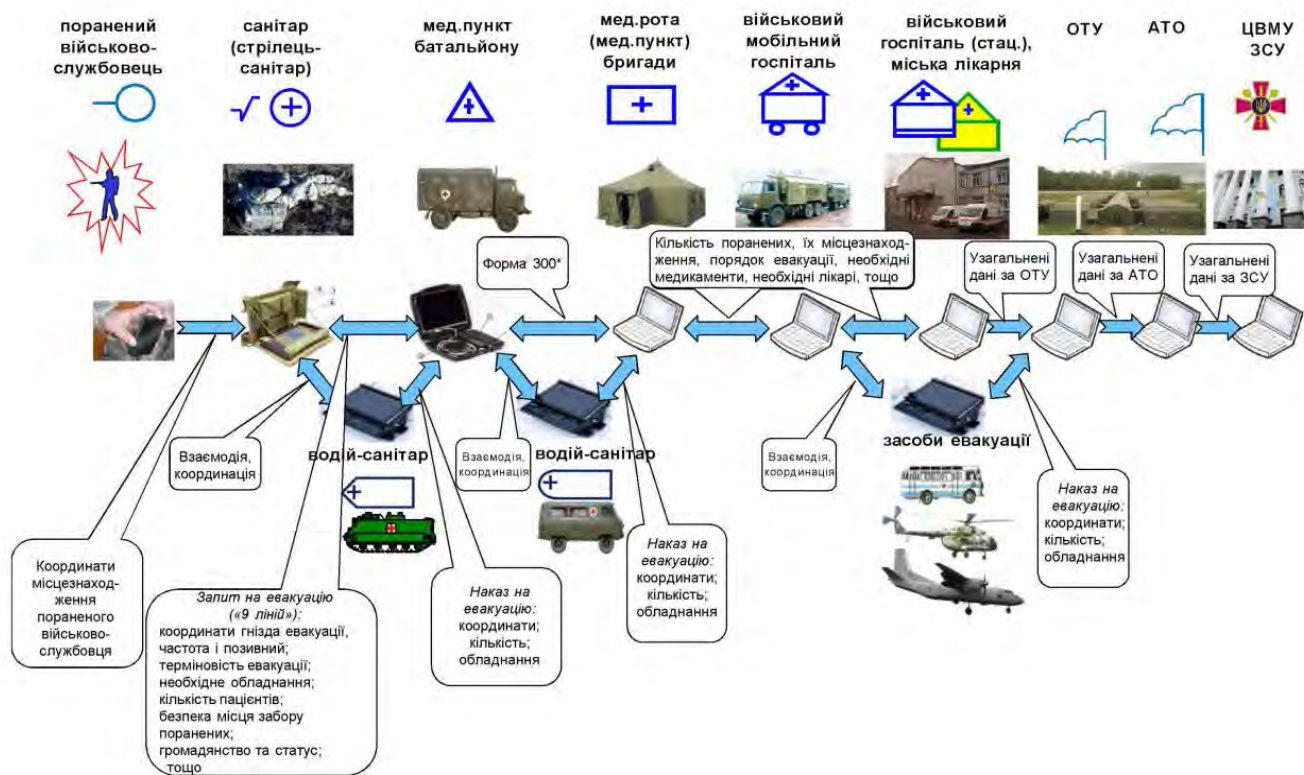


Рис. 3. Напрямки обміну інформаційними потоками при використанні системи медичного забезпечення та екстреної евакуації поранених

### 3. Висновки

Таким чином, система медичного забезпечення та екстреної евакуації поранених включає: інформаційну підтримку та координацію дій засобів евакуації поранених, бригад екстреної (швидкої) медичної допомоги і медичних закладів; прийняття виклику екстреної медичної допомоги, його оброблення та оперативне реагування на такий виклик; формування інформації про місце події, характер та особливості невідкладного стану пораненого військовослужбовця, вид допомоги; можливість оперативної передачі відповідній бригаді інформації про виклик, характер та особливості невідкладного стану військовослужбовця; визначення медичного закладу, до якого бригада екстреної медичної допомоги здійснюватиме перевезення пораненого військовослужбовця у невідкладному стані, передачу цієї інформації бригаді; інформаційний супровід надання медичної допомоги та прийняття інформації про результат її надання на місці події, під час перевезення та прибуття пораненого військовослужбовця до медичного закладу; використання, збирання, оброблення, накопичення, зберігання, передачу, поширення, знищення, надання доступу до інформації про виклики екстреної медичної допомоги.

**Література:** 1. STANAG 2546-AJMedP-2. (Electronic resource) / J ALLIED JOINT DOCTRINE FOR MEDICAL EVACUATION AJMedP-2 // 30 May 2011. P. 54. Mode of access:

<http://www.coemed.org/component/jifile/download/M2M0MWNhN2RmZmRhOGFhMDAxYWE0YmNlMmRlYjBkYjQ=/2546-ajmedp-2-pdf>.

2. The Tactical Combat Casualty Care Casualty Card (Electronic resource) // 30 April 2013. P. 9. Mode of access: <http://www.chinookmed.com/TCCC-Change-Prop-1301-TCCC-Card.pdf>.

Надійшла до редколегії 10.03.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Баранник В. В.

**Колачов Сергій Петрович**, канд. техн. наук, стар. наук. спів., начальник Наукового центру зв'язку та інформатизації Військового інституту телекомунікацій та інформатизації. Наукові інтереси: обробка та передача сигналів, автоматизація процесів управління. Адреса: Україна, 01013, Київ, вул. Московська, 45/1, тел. 044-256-22-49.

**Гуржій Павло Миколайович**, канд. техн. наук, начальник науково-дослідного відділу Наукового центру зв'язку та інформатизації Військового інституту телекомунікацій та інформатизації. Наукові інтереси: обробка та передача сигналів, автоматизація процесів управління, системи та технології перетворення, кодування, захисту та передачі інформації. Адреса: Україна, 01013, Київ, вул. Московська, 45/1, тел. 044-256-22-49.

**Масесов Микола Миколайович**, канд. техн. наук, стар. наук. спів., начальник науково-дослідного відділу Наукового центру зв'язку та інформатизації Військового інституту телекомунікацій та інформатизації. Наукові інтереси: обробка та передача сигналів, автоматизація процесів управління, системи перетворення, кодування та передачі інформації. Адреса: Україна, 01013, Київ, вул. Московська, 45/1, тел. 044-256-22-49.

**Гуржій Ірина Анатоліївна**, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу Наукового центру зв'язку та інформатизації Військового інституту телекомунікацій та інформатизації. Наукові інтереси: автоматизація процесів управління, системи та технології перетворення, захисту та передачі інформації. Адреса: Україна, 01013, Київ, вул. Московська, 45/1, тел. 044-256-22-49.

**Kolachov Sergey Petrovich**, PhD (candidate of tech. Sc.), Chief of the Scientific Communication Center and Information Institute, Military Institute of Telecommunications and Informatization. Scientific interests: processing and transmission of signals, automation of control processes. Address: Ukraine, 01013, Kyiv, Moscow Str, 45/1, phone 044-256-22-49.

**Gurzhiy Pavel Nikolaevich**, PhD (candidate of tech. Sc.), head of research department, Scientific Communication and Information Center, Military Institute of Telecommunication and Informatization. Scientific interests: processing and signaling, automation of control processes, systems and technologies of transformation, encoding, protection and transmission of information. Address: Ukraine, 01013, Kyiv, Moscow Str, 45/1, phone 044-256-22-49.

**Masses Nikolay Nikolaevich**, PhD (candidate of tech. Sc.), Head of research department, Scientific Communication and Informatization Center, Military Institute of Telecommunications and Informatization. Scientific interests: processing and transmission of signals, automation of control processes, systems of transformation, coding and information transmission. Address: Ukraine, 01013, Kyiv, Moscow Str, 45/1, tel. 044-256-22-49.

**Gurzhy Irina Anatolievna**, Senior Research Officer of the Research Department, Scientific Communication and Informatization Center, Military Institute of Telecommunications and Informatization. Scientific interests: automation of processes of management, systems and technologies of transformation, protection and transmission of information. Address: Ukraine, 01013, Kyiv, Moscow Str, 45/1, tel. 044-256-22-49.



## ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ В СЕТЯХ ПИРИНГОВОЙ СВЯЗИ

ПОПОВСКАЯ Е.О., МОСКАЛЕЦ Н.В.

Предлагается математическая модель управления потоком фрагментов в пиринговой сети P2P-TV при передаче видеоконтента с использованием критерия минимума суммарной потери времени на обслуживание  $N$ -фрагментов информационной последовательности. Описывается решение, приводящее к процедуре динамического программирования. Рассматривается влияние различных факторов, влияющих на динамику воспроизведения в пиринговой сети (P2P-TV) при представлении услуги видео по запросу и живого потокового видео.

**Ключевые слова:** пиринговая сеть, видео по запросу, загрузка, скачивание.

**Key words:** peering network, video on demand, downloading.

### 1. Введение

За последние годы наблюдается устойчивый рост пользовательского трафика, составляющего порядка 80 петабайт/мес, из них более половины принадлежит видеотрафику. Особенно быстрыми темпами растет использование P2P-технологии, в частности P2P-TV, предназначенной для просмотра видеоконтента через интернет-TV. Имеется достаточно много разновидностей популярных P2P-сетей: Bit Torrent Live, Torrent Stream, PPLive, UUSee, SopCast [1].

Особенностью P2P-сетей является процедура задействования машин других клиентских пользователей, с которых скачиваются соответствующие видеофрагменты. В живом потоковом видео TV-контент распространяется всем пользователям в режиме реального времени. В процессе предоставления услуги принимается ряд решений, осуществляется большое число управлений: выбор пира, присоединение и отсоединение пира, обмен информацией между пирами, оценка задержек, организация буфера, планирование фрагментов. Соответствующие процедуры выполняют целый ряд управляющих машин: сервер, глобальный и локальные трекеры и др. Планировщиком обеспечивается необходимая координация всех проколов и указанных органов управления в соответствии со своими алгоритмами и выбранными моделями.

В данной статье предпринимается попытка продемонстрировать возможность выбора объединенной математической модели  $x(t)$  – процесса функционирования пиринговой сети и соответствующей универсальной процедуры оптимального управления в технологии P2P-TV. Процесс скачивания какого-либо файла  $x(t)$  сопровождается разбиением его на отдельные фрагменты, получаемые в общем случае от различных пиров.

Планирование процесса фрагментации осуществляется таким образом, чтобы за минимальное время  $t \in T = [t_1, t_f]$  обеспечить предоставление услуги с требуемым качеством. Сам процесс  $x(t)$  на интервале  $T$  представляет собой управляемую последовательность отдельных фрагментов с независимыми значениями на границах стыка. Данная задача относится к классу магистральных, когда управление транспортом осуществляется по выбранным участкам (этапам) и на каждом этапе выбирается лучший режим по скорости, минимизации задержек, уровню затрат [2,3].

### 2. Методы управления потоком фрагментов в одноранговых сетях

Исходящий от источника в сеть поток фрагментов определяется совместным распределением случайных величин  $z_k = t_k - t_{k-1}$ , где  $t_k$  – моменты поступления  $k$ -го фрагмента ( $k \geq 1$ ,  $t_0 = 0$ ,  $0 \leq t_1 \leq t_2 \leq \dots$ ). Очевидно, последовательность фрагментов  $z_k$  образует случайный поток, где для каждого пира значения  $z_k$  независимы в совокупности. Такой поток называют потоком с ограниченным последствием и для его определения достаточно задать набор функций распределения  $F_k(t) = P\{z_k \leq t\}$ ,  $k \geq 1$ .

Частным случаем такого случайного потока является пуассоновский поток, для которого  $F_k(t) = 1 - \exp\{-\lambda t\}$ , где  $\lambda$  – интенсивность потока, зависящая от общего числа фрагментов, передаваемых в сети.

В силу спецификации пиринговую сеть можно считать однородной, а экспоненциальный характер функции распределения вероятностей допускает использование для ее исследований методов теории массового обслуживания. Для сетей этого типа характерна мультипликативная форма стационарных вероятностей. Это позволяет достаточно просто находить условия глобального и локального балансов, что составляет основу для исследования и проектирования сети.

Вместе с тем, для модели потока фрагментов при скачивании соответствующего файла методы теории массового обслуживания не подходят, поскольку в данном случае имеет место случайный управляемый поток обслуживания, а не чисто случайный. В нашей задаче необходимо найти оптимальный план (управление) поступления фрагментов от различных пиров, предписывающий каждому  $i$ -му фрагменту время поступления на обслуживание:

$$U = \varphi_{пл}(t_1, t_2, \dots, t_n).$$

В процессе обслуживания необходимо учесть следующую специфику:

а) случайное время поступления  $i$ -го фрагмента на обслуживание  $t_i^0(\varphi_i)$ , отличающееся от некоего планируемого  $t_i^{пл}$ ;

б) случайное время обслуживания  $i$ -го фрагмента  $\theta_i(\varphi_i)$ .

В результате различных случайных факторов и управляющих воздействий возможны две причины потерь времени, приводящих к соответствующим задержкам:

– потери, связанные с тем, что  $i$ -й фрагмент поступил раньше, чем завершилось его считывание  $\delta_i^0(\varphi_i, U)$ ;

– потери при задержке поступления  $i$ -го фрагмента, если считыватель простаивает  $\delta_i^\Pi(\varphi_i, U)$ .

Суммарные потери времени при обслуживании  $n$ -фрагментов составят:

$$\Phi(U) = \sum_{i=1}^n (m\{\delta_i^0(\varphi_i, U)\} + cm\{\delta_i^\Pi(\varphi_i, U)\}), \quad (1)$$

где  $c$  – коэффициент, учитывающий стоимость потерь;  $m\{\bullet\}$  – знак математического ожидания.

Задача оптимального планирования процесса считывания файла состоит в минимизации функционала  $\Phi(U)$ .

Рассмотрим  $k$ -й шаг процесса. Обслуживание  $k-1$  фрагмента завершается в случайный момент  $t_{k-1}$ , функция распределения вероятностей которого

$$F_{k-1}(t) = P\{t_{k-1} < t\}.$$

Фрагмент  $k$  поступает в случайный момент  $t_k^0$ , функция распределения которого:

$$F_k^0(t) = P\{t_k^0 < t\}.$$

При этом среднее:

$$\int_0^\infty t dF_k^0(t) = t_k^{пл}.$$

Обслуживание  $k$ -го фрагмента начинается в случайный момент времени:

$$t_k^H = \max(t_{k-1}, t_k^0)$$

с функцией распределения:

$$F_k^H(t) = P\{t_k^H < t\} = P\{t_{k-1} < t, t_k^0 < t\}.$$

Значения случайных величин  $t_{k-1}$  и  $t_k^0$  порождаются различными процессами, связанными соответственно с выбором  $k-1$  пира и процессом считывания, что позволяет считать их независимыми, поэтому:

$$F_k^H(t) = F_{k-1}(t)F_k^0(t). \quad (2)$$

Время обслуживания  $k$ -го фрагмента  $\theta_k$  является случайной величиной, заданной функцией распределения

$$\Phi_k(t) = P\{\theta_k < t\},$$

причем  $\theta_k$  не зависит от времени канала обслуживания.

Время конца обслуживания  $k$ -го фрагмента  $t_k$  является композицией двух независимых величин:

$$t_k = t_k^H + \theta_k.$$

С функцией распределения, определяемой интегралом свертки:

$$F_k(t) = \int_0^\infty F_k^H(t - \tau) d\Phi_k(\tau). \quad (3)$$

При известном распределении  $F_{k-1}(t)$  можно определить потери времени для фрагмента  $\delta_k^0$  и для считывателя  $\delta_k^\Pi$  на  $k$ -м шаге управления:

$$\delta_k^0 = \begin{cases} 0, & \text{при } t_k^0 \geq t_{k-1}, \\ t_{k-1} - t_k^0 & \text{при } t_k^0 < t_{k-1}; \end{cases}$$

$$m\{\delta_k^0\} = \int_0^\infty \int_t^\infty (\tau - t) dF_{k-1}(\tau) dF_k^0(t);$$

$$\delta_k^\Pi = \begin{cases} 0, & t_k^0 \leq t_{k-1}, \\ t_{k-1}^0 - t_k, & t_k > t_{k-1}; \end{cases}$$

$$m\{\delta_k^\Pi\} = \int_0^\infty \int_0^c (t - \tau) dF_{k-1}(\tau) dF_k^0(t).$$

Суммарные потери времени на  $k$ -м шаге зависят от выбора управления на  $k$ -м шаге от функции распределения  $F_{k-1}(t)$ :

$$\begin{aligned} f_k(t_k, F_{k-1}(t)) &= m\{\delta_k^0\} + cm\{\delta_k^\Pi\} = \\ &= \int_0^\infty \left[ \int_t^\infty (\tau - t) dF_{k-1}(\tau) + c \int_0^t (t - \tau) dF_{k-1}(\tau) \right] dF_k^0(t) = \\ &= \int_0^\infty \left[ m\{t_{k-1}\} - t + c \int_0^t (t - \tau) dF_{k-1}(\tau) \right] dF_k^0(t), \end{aligned}$$

Функция  $F_{k-1}(t)$  в силу монотонности интегрируема для непрерывного и дискретного распределений, следовательно:

$$\int_0^t (\tau - t) dF_{k-1}(\tau) = \int_0^t F_{k-1}(\tau) d\tau.$$

В результате получаем:

$$f_k(t_k, F_{k-1}(t)) = m\{t_{k-1}\} - t_k + c \int_0^\infty \int_0^t F_{k-1}(\tau) d\tau dF_k^0(t). \quad (4)$$

Полученная функция потерь на  $k$ -м шаге (4) позволяет применить метод динамического программирования. Состояние системы на  $k-1$  шаге характеризуется функцией распределения  $F_{k-1}(t)$ , поэтому уравнение Беллмана имеет вид [3]:

$$S_{k-1}(F_{k-1}(t)) = \min[f_k(t_k, F_{k-1}(t)) + S_k(\varphi_k(t_k, F_{k-1}(t)))] ,$$

где  $F_k(t) = \varphi_k(t, F_{k-1}(t))$  – уравнение состояния в рекуррентной форме, заданной выражениями (2) и (3).

Функция (4) является функцией с монотонным включением переменных

$$f_k(t_k, F_{k-1}(t)) = f_k(t_k, \varphi_{k-1}(t_{k-1}, \varphi_{k-2}(t_{k-2}, \dots, \varphi_1(t_1)) \dots)). \quad (5)$$

Минимизация функционала (1) является задачей Майера, схема которой изложена в [4].

Очевидно, состояние на  $k-1$  шаге, которое характеризуется одной из возможных реализаций функции  $F_{k-1}(t)$ , наиболее существенно зависит от ближайших шагов процесса. Таким образом, можно считать, что  $F_{k-1}(t)$  определяется выбором управления  $t_i$  на  $N-x$  предыдущих шагах:

$$F_{k-1}(t) = F(t_{k-1}, t_{k-2}, \dots, t_{k-N}).$$

Если управление  $t_i$  аппроксимируется  $m$  дискретными значениями, то число различных комбинаций управления на  $N$  шагах:

$$M = m^N,$$

где состояние  $F_{k-1}(t)$  может принимать  $M$  соответствующих дискретных значений.

Конкретные значения  $N$  и  $M$  выбираются после корреляционного анализа управляемого процесса с учетом требуемой точности.

Функции  $F_k^0(t)$  и  $\Phi_k(t)$  определяются по статистическим данным, коррекция функций позволяет адаптировать систему с учетом опыта предыдущего планирования. Для реализации данного алгоритма следует представить (2), (3) и (4) в дискретной форме, заменить знаки интегралов соответствующими суммами.

### 3. Анализ динамики пиринговой сети

Особую популярность пиринговые сети обрели при представлении услуги видео по запросу и живого потокового видео. Преимуществом видео по запросу является более высокое качество воспроизведения, которое можно смотреть в любом месте в любое время. Недостаток – необходимость наличия буфера большого размера для хранения всего файла. Живое потоковое видео – это видео реального времени, что во многих случаях является критично важным. Рассмотрим влияние различных факторов, влияющих на динамику воспроизведения P2P-TV [5].

Динамические характеристики пиринговой сети определяются скоростью скачивания контента  $V_d$  (download) и скоростью его загрузки  $V_u$  (upload). Для конкретного пира  $P_i$  эти характеристики определяются

$$\begin{aligned} V_d &= d\lambda_d(t)/dt, \\ V_u &= d\lambda_u(t)/dt, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\lambda_d$ ,  $\lambda_u$  – соответственно интенсивности потоков скачивания и загрузки.

В соотношениях баланса между скоростями загрузки и скачивания равенство определяет скорость загрузки видеосервера [6]:

$$\int_0^{N(t)} V_u(t, v) dv + U = \int_0^{N(t)} V_a(t, v) dv, \quad (7)$$

где  $U$  – скорость загрузки видеосервера.

Каждый из  $i$ -пиров имеет свою стратегию поведения. В частности, возможна полностью эгоистическая стратегия, при которой пир только скачивает информацию со скоростью  $V_{ui}$ , по другим – не загружает  $V_{ui} = 0$ . Степень эгоизма пира определяется отношением скоростей:

$$S(t) = V_u(t)/V_d(t).$$

Показатель  $S(t)$  может изменяться в пределах от  $S_i = 0$  до достаточно больших чисел. При  $S_i \geq 1$  соответствующий пир демонстрирует щедрую альтруистическую стратегию. Очевидно, качество работы пиринговой сети в целом определяется значениями данного показателя, приведенного к текущему числу активных пиров:

$$Q(t) = \frac{1}{N_i(t)} \sum_{i=1}^N S_i(t), \quad (8)$$

где  $N$  – число активных пиров, переменная величина, от которой зависит качество  $Q(t)$ . При достаточно большом числе пиров можно заменить сумму на интеграл, а  $N$  – на  $N(t)$ . В этом случае (8) представляется в виде

$$Q(t) = \frac{1}{N(t)} \int_0^{N(t)} S_i(t) t_1 v dv. \quad (9)$$

Получим явную зависимость изменения качества  $Q(t)$  от параметров. Для этого найдем производную функции  $Q(t)$ . Дифференцирование сложной функции нескольких переменных под знаком интеграла представляет собой сложную задачу, особенно для случая, когда пределы интегрирования зависят от параметров. При нахождении производной предположим, что функция  $N(t)$  – непрерывна на интервале интегрирования и имеет непрерывные производные. С учетом этого общее выражение дифференциала имеет вид [7]:

$$\frac{d}{dy} \int_{\alpha(y)}^{\beta(y)} f(x, y) dx = \int_{\alpha(y)}^{\beta(y)} \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} dx + \beta'(y) f(\beta(y), y) - \alpha'(y) f(\alpha(y), y). \quad (10)$$

В результате дифференцирования (8) получаем:

$$\begin{aligned} \frac{dQ(t)}{dt} &= -\frac{N'(t)}{N(t)} Q(t) + \frac{1}{N(t)} \int_0^{N(t)} \frac{\partial S(t, v)}{\partial t} dv + \\ &+ \frac{N'(t)}{N(t)} S(t, N(t)). \end{aligned} \quad (11)$$

Уравнение (11) может быть упрощено с учетом особенностей пиринговой сети. Примем во внимание тот факт, что вновь включающийся в сеть пир еще не имеет ресурса для скачивания, т.е.  $S(t, v) = S(t, N(t)) = 0$  при  $N(t) = 0$ .

В результате производная (11) примет вид:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{N'(t)}{N(t)}Q(t) + \frac{1}{N(t)} \int_0^{N(t)} \frac{\partial S(t, v)}{\partial t} dv. \quad (12)$$

В стационарном состоянии пиринговой сети скорость потоковой передачи  $V(t)$  постоянна. Очевидно, это допущение с увеличением числа пиров становится все более справедливым за счет усреднения. Поэтому можно осуществить замену:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{N'(t)}{N(t)}Q(t) + \frac{1}{N(t)} \cdot \frac{1}{V_d} \int_0^{N(t)} \frac{\partial V_u(t, v)}{\partial t} dv. \quad (13)$$

где  $V_d \equiv V_d(t)$  – предположение о постоянстве скорости скачивания.

В условиях баланса выполняется равенство, определяющее реакцию сети:

$$\left( \int_0^{N(t)} \frac{\partial V_u(t, v)}{\partial t} dv \right) dt = -V_d N'(t) dt. \quad (14)$$

Отсюда

$$N'(t) = \frac{1}{V_d} \int_0^{N(t)} \frac{\partial V_u(t, v)}{\partial t} dv. \quad (15)$$

Заменяя  $N'(t)$ , из (12) получаем

$$\frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{N'(t)}{N(t)} \cdot Q + \frac{N'(t)}{N(t)}. \quad (16)$$

Уравнение выполняется при любых  $t$ . Заменяя  $Q(t)$  и  $N(t)$  на  $Q(t_0)$ ,  $N(t_0)$  получаем

$$Q(t) = 1 - \frac{N(t_0)(1 - Q(t_0))}{N(t)}. \quad (17)$$

Очевидно, с увеличением  $N(t)$  показатель качества  $Q(t) \rightarrow 1$ .

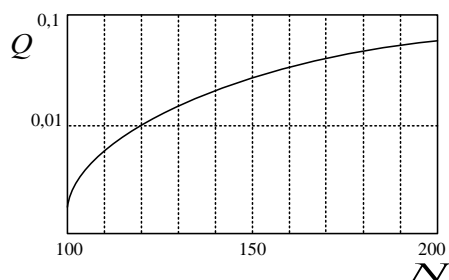
С учетом  $V_d(t, v) = V_d$  можно упростить условие баланса (14):

$$\int_0^{N(t)} V_u(t, v) dv + U = N(t) \cdot V_d. \quad (18)$$

С учетом (8) получаем

$$Q(t) = 1 - \frac{U}{V_d \cdot N(t)}. \quad (19)$$

Причиной монотонного возрастания показателя  $Q(t)$  является все возрастающее количество предложений на скачивание (рисунок).



Качественная характеристика роста скорости загрузки в пиринговой сети с увеличением числа активных пиров

Особенно важно это для вновь включающихся пиров у которых еще отсутствуют видеоматериалы, которыми он мог бы поделиться с другими.

#### 4. Выводы

1. Не удалось воспользоваться теорией массового обслуживания, поскольку имеет место управляемый поток фрагментов, а не чисто случайный поток.

С использованием критерия минимума суммарной потери времени на обслуживание  $N$ -фрагментов информационной последовательности получено решение, приводящее к процедуре динамического программирования.

2. Проведен анализ показателей качества пиринговой сети на основе использования показателя отношения скоростей скачивания и загрузки приведенных к текущему числу активных пиров, в результате которого получена аналитическая зависимость качества пиринговой P2P сети, транслирующей живое потоковое видео от составляющих компонент данной сети. Получена качественная характеристика роста скорости загрузки в пиринговой сети с увеличением числа активных пиров.

3. Пиринговые P2P интернет-сети предоставляют весьма популярную услугу по доставке TV-контента в реальном времени. В целях повышения качества услуг пользователям рекомендуется не уходить быстро из сети, этим самым предоставляя возможность другим пирам скачивать необходимые фрагменты.

**Литература:** 1. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology. 2012-2017. Cisco Public. 2013. 2. Zhi-Hui Lu, Ye Wang, and Yang Richard Yang. An Analysis and Comparison of CDN-P2P-hybrid Content Delivery System and Model // JCM. 2012. 7(3). P. 232-245. 3. Bellman Richard. Dynamic programming. Princeton University Press. 1957. 363 p. 4. Моисеев, Н.Н. Численные методы в теории оптимальных систем. Монография. [Текст] / Н.Н. Моисеев. М.: Наука, 1971. 428 с. 5. Setton E., Girod B. Peer-to-Peer Video Streaming // Springer. 2007. 150 p. 6. Popovskij V., Barkalov A., Titarenko L. Control and Adaptation in Telecommunication Systems. Berlin Heidelberg Springer-Verlag, 2011. 173 p. 7. Бронштейн, И.И. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов [Текст] / И.И. Бронштейн, К.Л. Семендяев. М.: Наука, 1986. 608 с.

#### Транслитерованный список литературы.

1. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology. 2012-2017. Cisco Public. 2013. 2. Zhi-Hui Lu, Ye Wang, and Yang Richard Yang. An Analysis and Comparison of CDN-P2P-hybrid Content Delivery System and Model // JCM. 2012. 7(3). P.232-245. 3. Bellman Richard. Dynamic programming. Princeton University Press. 1957. P.363. 4. Moiseev, N.N. Chislennyye metody v teorii optimal'nykh sistem. Monografija. [Tekst] / N.N. Moiseev. M. Nauka. 1971. 428 s.

5. *Setton E., Girod B. Peer-to-Peer Video Streaming // Springer. 2007. 150 p.*
6. *Popovskij V., Barkalov A., Titarenko L. Control and Adaptation in Telecommunication Systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 173 p.*
7. *Bronshtejn I.I. Spravochnik po matematike dlja inzhenerov i uchashhihsja vtuzov [Tekst] / I.I.Bronshtejn K.L., Semendjaev; M.: Nauka, 1986. 608 s.*

Поступила в редколлегию 15.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

**Поповская Екатерина Олеговна**, ассистент кафедры Инфокоммуникационной инженерии ХНУРЭ. Научные интересы: сети передачи информации. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки 14, тел. +380675701213.

**Москалец Николай Вадимович**, канд. техн. наук, доцент кафедры Инфокоммуникационной инженерии ХНУРЭ. Научные интересы: беспроводная и мобильная связь. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки 14, тел.: +380675701213.

**Поповская Екатерина Олеговна**, assistant of Department «Infocommunication engineering», Kharkiv National University of Radioelectronics. Scientific interests: communication networks. Address: ave. Nauky, 14, Kharkiv, 61166, Ukraine, tel.: +38068-759-60-75

**Moskalets Mykola Vadymovych**, associate professor of Department "Infocommunication engineering", Kharkiv National University of Radioelectronics. Scientific interests: wireless and mobile communication. Address: Nauky ave. 14, Kharkiv, 61166, Ukraine, tel.: +38068-759-60-75.

# КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

УДК 621.397

## ОЦЕНКА БЫСТРОДЕЙСТВИЯ МЕТОДОВ СЕЛЕКТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ПРОСТРАНСТВЕННО - ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

ГАВРИЛОВ Д.С., ФУСТИЙ В.С.,

ПОДДУБНЫЙ Б.А., ДРОЗД К.А., ЖУЙКОВ Д.Б.

Оцениваются известные методы селективной обработки данных на основе выделения и шифровки контурной информации на базе JPEG-платформы по критерию быстродействия в пространственно-временной области.

**Ключевые слова:** селективная обработка, защита, кадр, быстродействие.

**Key words:** selective processing, protection, frame, speed.

### 1. Введение

В эру широкого распространения дистанционно управляемых летательных аппаратов тактического уровня остро поставлен вопрос обеспечения конфиденциальной передачи данных в реальном масштабе времени. Ведь обладание несанкционированным пользователем информацией, которая добыта воздушной разведкой, может привести к экономическим, политическим и социальным потерям, что в свою очередь приведет к потере имиджа государства, предприятия или учреждения. Анализ последних исследований и публикаций показал, что для решения проблемы конфиденциальной передачи данных с борта летательного аппарата на пункт дистанционного управления в реальном масштабе времени используют селективные методы обработки данных, которые обнаруживают и защищают контурную информацию, как ключевой признак объекта. Однако каждый из методов имеет определенное время обработки, которая в свою очередь вызывает задержку. Следует заметить, что актуальность (время «жизни») добытой аэромониторингом информации во временной области исчисляется от десятка секунд до нескольких минут. Наличие задержек в процессе добывания, обработки и доведения разведывательных данных до потребителя может привести к потере достоверности информации из-за снижения доступности. На данное время методы селективной обработки на основе закрытия контурной информации справляются с поставленным заданием, но качество, следовательно, и объем видеoinформационного ресурса стремительно растет, что в свою очередь увеличивает время  $T_{обр}$  на обработку и передачу данных.

Основываясь на сказанном, *актуальной научно-прикладной задачей* является нахождение путей повышения оперативной передачи защищенной видеoinформации в системе аэромониторинга при активном противодействии противника.

*Цель* исследования состоит в нахождении подхода для обеспечения оперативной передачи данных с необходимым уровнем криптозащиты. В этой работе предлагается решить поставленную задачу путем нахождения метода, который за минимальное время  $T_{обр}$  проводит обработку данных. Указанный метод будем считать наиболее пригодным для обеспечения оперативной передачи данных.

### 2. Основная часть исследований

Основу селективной обработки данных на основе JPEG-платформы в пространственно-временной области составляют методы выявления контурной информации в яркостной составляющей, так как она содержит ключевую информацию в пространстве YCrCb [9] (рис. 1).

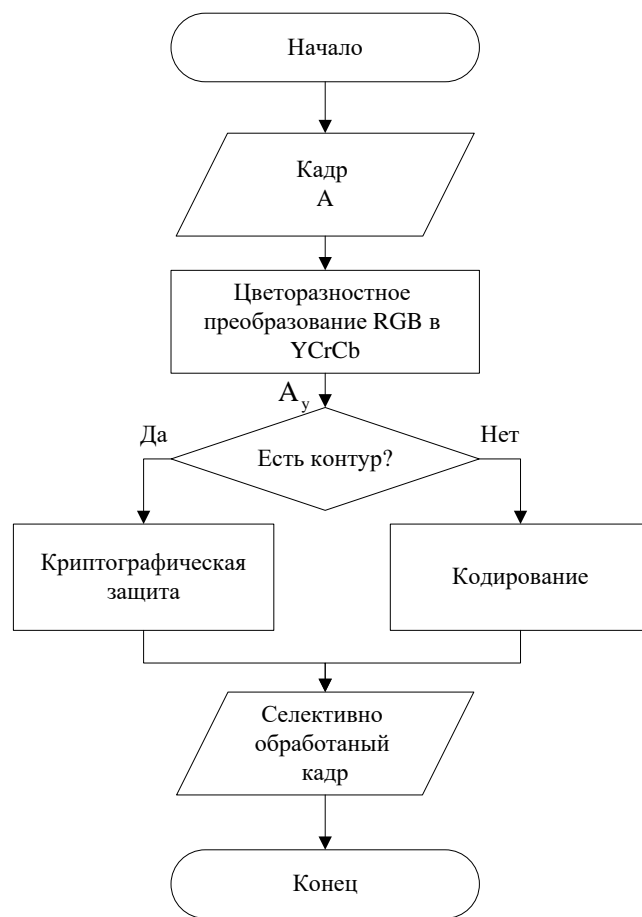


Рис. 1. Общая схема селективной обработки данных на основе выявления контурной информации

Селекция значимой информации на этапе цветоразностного преобразования позволит не тратить время на ее кодирование, что значительно уменьшит время  $T_{обр}$  на обработку.

В работе проводятся исследования методов выделения контурной информации, а именно:

- 1) выявление контуров на основе масок (Собела, Прюитта и Робертса);
- 2) выявление контуров при превышении порога (анализ поблочно или по принципу квадрадерева). Принцип работы методов выявления контурной информации с помощью масок хорошо известен и описан в публикациях [10-12].

Метод выявления контурной информации при превышении порога заключается в том, что в блоке определяется максимальный  $y_{v,u}^{max}$  и минимальный  $y_{v,u}^{min}$  элемент в составляющей по яркости, после чего проверяется превышение разницей этих значений порога  $G$ :

$$\begin{cases} y_{v,u}^{max} - y_{v,u}^{min} \geq G, \text{ то } A_y(v, u) \in A_{kon} \Rightarrow F_{kon}^y : A_{kon} \rightarrow \lambda; \\ y_{v,u}^{max} - y_{v,u}^{min} < G, \text{ то } A_y(v, u) \in A_{bk} \Rightarrow F_{bk}^y : A_{bk} \rightarrow E. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $A_{kon}$  – множество элементов кадра  $A$ , которые складывают контурную информацию;  $A_{bk}$  – множество элементов кадра  $A$ , которые не складывают контурную информацию;  $A_y(v, u)$  – блок яркостной составляющей с координатами  $(v, u)$  по строкам и столбцам соответственно;  $F_{kon}^y$  – функционал, превращающий множество  $A_{kon}$  элементов кадра, которые складывают контурную информацию во множество  $\lambda$  зашифрованных данных за счет использования алгоритма криптографической защиты «Калина». Выбор данного симметричного блочного алгоритма обусловлен принятием его как национального стандарта Украины ДСТУ 7624:2014 «Информационные технологии. Криптографическая защита информации. Алгоритм симметричного блочного преобразования», что дает право использовать данный алгоритм в ведомственных структурах:

$$F_{kon}^y : A_{kon} \rightarrow \lambda;$$

$F_{bk}^y$  – функционал, превращающий множество  $A_{bk}$  элементов кадра, которые не складывают контурную информацию во множество  $E$  закодированных данных за счет использования алгоритмов компрессии:  $F_{bk}^y : A_{bk} \rightarrow E$ .

Во время анализа по принципу квадродерева выполняется общий анализ изображения по правилу (1), после чего уточняется местонахождение контурной информации до блока размером  $8 \times 8$  (рис. 2). В результате данной обработки строится матрица  $Z$  сегментации, которая состоит из "0" и "1".

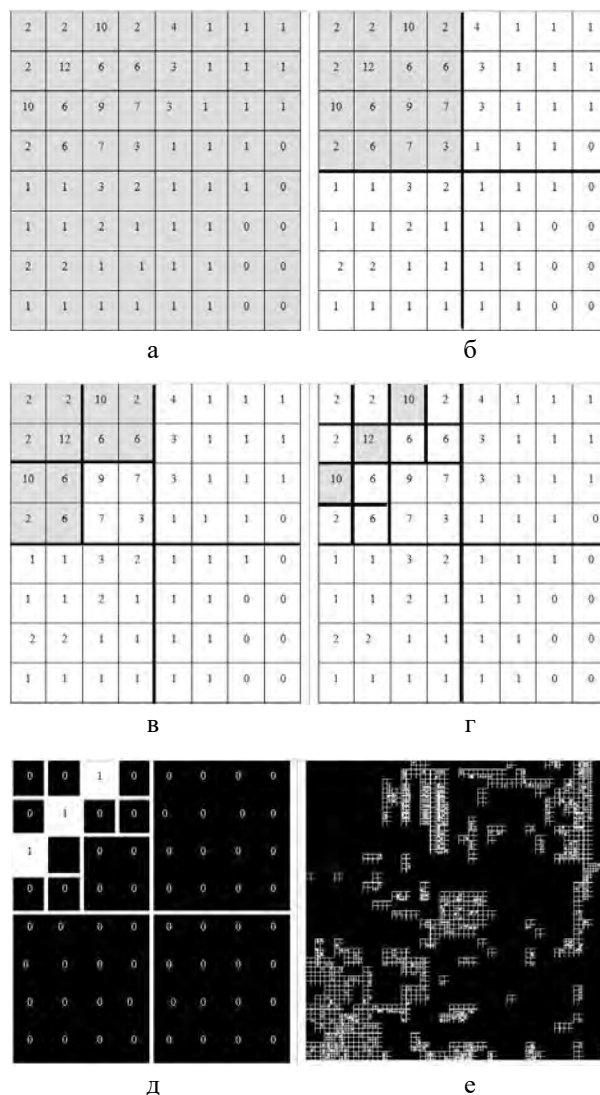


Рис. 2. Процесс определения наличия контурной информации по принципу квадродерева с порогом  $n=7$ : а – шаг 1, общий анализ изображения; уточнение местонахождения контурной информации: б – шаг 2; в – шаг 3; г – шаг 4; д – построение матрицы сегментации; е – программная реализация в среде Matlab



Следует заметить, что координаты "1" совпадают с координатами блока, который идентифицирован как "блок с контурной информацией" (рис. 3) по правилу (1). Данная особенность помогает без дополнительных расчетов отделить блоки, которые следует зашифровать для выполнения условий конфиденциальности, от блоков, которые стоит закодировать для выполнения условий по оперативности передачи данных.

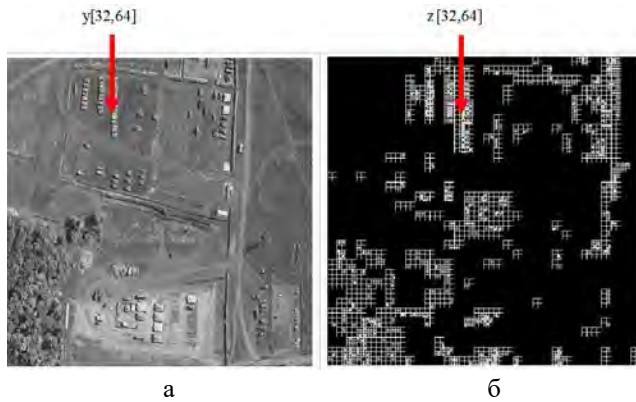


Рис. 3. Визуализация работы программы в среде Matlab: а – составляющая по яркости исходного изображения; б – сегментированное изображение по принципу квадродерева

В случае поблочного анализа кадра изображение изначально разбивается на блоки (в данной работе  $8 \times 8$ ), после чего каждый блок анализируется на превышение порога  $G$ . При превышении порога (1) соответствующий блок шифруют по алгоритму криптографической защиты; блоки, которые не превысили порог, кодируются (рис. 4).

### 3. Выводы

Результаты исследования (рис. 4) показали, что:

- 1) все методы выявления контурной информации справляются с поставленной задачей с близким уровнем качества;
- 2) анализ кадра поблочно позволяет выявить блоки с контурной информацией за время обработки  $T_{обр} = 0.5616$  с, что в 3 раза быстрее, чем ближайший конкурент по скорости – метод выявления контуров с превышением порога при анализе по принципу квадродерева;
- 3) использование метода поблочной обработки кадра в системе селективной обработки в обозри-

мом будущем позволит обеспечить оперативную передачу данных с необходимым уровнем защиты. Решена *актуальная научно-прикладная задача* повышения оперативной передачи защищенной видеоинформации в системе аэромониторинга при активном противодействии противника за счет снижения времени  $T_{обр}$  на обработку данных.

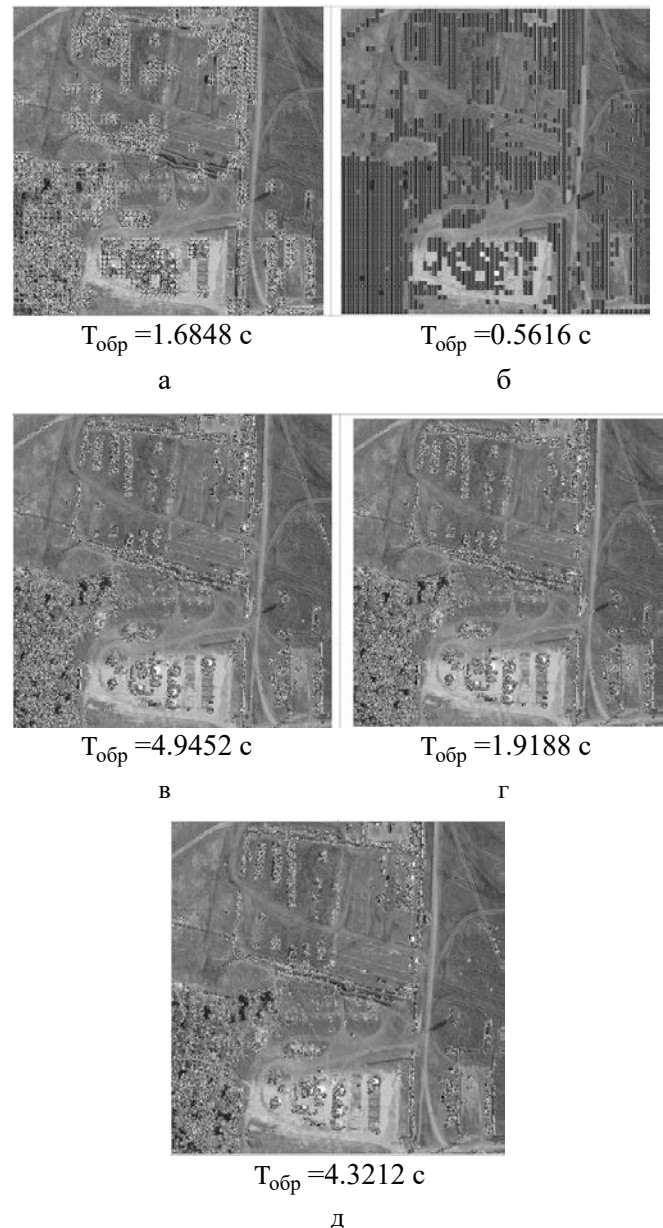


Рис. 4. Вид кадра при несанкционированном доступе со временем селективной кодировки: а – анализ методом квадродерева; б – поблочный анализ с порогом; в – оператором Собела; г – оператором Прюитта; д – оператором Робертса

**Литература:** 1. *Баранник В.В.* Метод повышения информационной безопасности в системах видеомониторинга кризисных ситуаций / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха, О.С. // Монография. Черкассы, 2015. 143 с. 2. *Баранник В.В.* Модель угроз безопасности видеoinформационного ресурсу систем видеоконференцзв'язку / А.В. Власов, В.В. Баранник, Р.В.Тарнополов // Наукоємні технології. 2014. № 1 (21). С. 55 – 60. 3. *Баранник В.В.* Обоснование значимых угроз безопасности видеoinформационного ресурса систем видеоконференцсвязи профильных систем управления / В.В. Баранник, А.В. Власов, С.А. Сидченко, А.Э. Бекиров // Информационно-управляющие системы на ЖД транспорте. 2014. №3. С. 24 – 31. 4. *Баранник В.В.* Селективный метод шифрування відеопотоку в телекомунікаційних системах на основі приховування базового I-кадру / В.В. Баранник, Д.І. Комолов, Ю.М. Рябуха // Наукоємні технології. №2. 2015. С. 14 - 23. 5. *Barannik V.V.* The model of avalanche-relating effect in the process of images reconstruction in the combined cryptosemantic systems on the polyadic presentation / V.V. Barannik V.V. Larin, S.A. Sidchenko // Наукоємні технології. 2010. № 1(5). С. 68 – 70. 6. *Гаврилов Д.С.* Метод захисту низькочастотних складових в алгоритмі кодування JPEG / Ларин В.В., Комолов Д.С., Ялівець К.В., Гаврилов Д.С. // Системи обробки інформації. 2015. № 9 (134). С. 121 – 123. 7. *Гаврилов Д.С.* Метод забезпечення безпеки видеoinформационного ресурсу на основі багаторівневої селективної обробки в телекомунікаційних системах / О.Г. Оксіюк, Д.С. Гаврилов, П.М. Гуржій, Б.О. Демідов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. № 1. 2017. С. 46 - 48. 8. *Gavrulov D.* The analysis of template method of video processing./ Larin V., Krasnikov P., Gavrulov D. // Proceedings of 2015 1st International Conference on Advanced Information and Communication Technologies-2015 (AICT'2015), Lviv, Ukraine, October 29 – November 1, 2015. P. 87 – 89. 9. *Ватолин Д.* Методи зжаття даних. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Рятуньяк, М. Смирнов, В. Юкин // Учебно-справочное издание. М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2003. 384 с. 10. *Гонсалес Р.*, Цифровая обработка изображений / Гонсалес Р., Вудс Р. // М.: Техносфера, 2005. С. 812-850. 11. *Яне Б.* Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2007. С.331-356. 12. *Соффера В.А.* Методы компьютерной обработки изображений. М.: Физматлит, 2003. С. 192-203.

#### Transliterated bibliography:

1. *Barannik V.V.* Metod povysheniya informacionnoj bezopasnosti v sistemah videomonitoringa krizisnyh situacij / V.V. Barannik, Ju.N. Rjabuha, O.S. // Monografija. Cherkassy, 2015. 143 s. 2. *Barannik V.V.* Model' zagroz bezpeki videoinformacionnogo resursu sistem videokonferenczvjazku / A.V. Vlasov, V.V. Barannik, R.V.Tarnopolov // Naukoemni tehnologii. 2014. # 1 (21). S. 55 – 60. 3. *Barannik V.V.* Obosnovanie znachimyh ugroz bezopasnosti video-informacionnogo resursa sistem videokonferencsvjazi profil'nyh sistem upravlenija / V.V. Barannik, A.V. Vlasov, S.A.Sidchenko, A.Je.Bekirov // Informacionno-upravljajushhie sistemy na ZhD transporte. 2014. #3. S. 24 – 31. 4. *Barannik V.V.* Selektivnij metod shif-ruvannja videopotiku v telekomunikacijnih sistemah na osnovi prihovuvannja bazovogo I-kadru / V.V. Barannik, D.I. Komolov, Ju.M. Rjabuha // Naukoemni tehnologii. #2. 2015. S. 14 - 23. 5. *Barannik V.V.* The model of avalanche-relating effect in the process of images reconstruction in the combined cryptosemantic systems on the polyadic presentation / V.V. Barannik V.V. Larin, S.A. Sidchenko // Наукоємні технології. 2010. № 1(5). С. 68 – 70. 6. *Gavrulov D.S.* Metod zahistu nizkочастотних складових v algoritmi koduvannya JPEG / Larin V.V., Komolov D.S., Yalivets

K.V., Gavrulov D.S. // Sistemi obrobki informatsiyi. 2015. № 9 (134). S. 121 – 123. 7. *Gavrulov D.S.* Metod zabezpechennya bezpeki videoinformatsiynogo resursu na osnovi bagatorivnevoyi selektivnoyi obrobki v telekomunikatsiynih sistemah / O.G. Oksiyuk, D.S. Gavrulov, P.M. Gurzhiy, B.O. Demidov // Nauka i tehnika Povitryanih Sil Zbroynih Sil Ukraini. № 1. 2017. S. 46 - 48. 8. *Gavrulov D.* The analysis of template method of video processing./ Larin V., Krasnikov P., Gavrulov D. // Proceedings of 2015 1st International Conference on Advanced Information and Communication Technologies-2015 (AICT'2015), Lviv, Ukraine, October 29 – November 1, 2015. P. 87 – 89. 9. *Vatolin D.* Metody szhatija dannyh. Ustrojstvo arhivatorov, szhatie izobrazhenij i video / D. Vatolin, A. Rjatushnjak, M. Smirnov, V. Jukin // Uchebno-spravocnoe izdanie. M.: DIALOG – MIFI, 2003. 384s. 10. *Gonsales R.* Cifrovaja obrabotka izobrazhenij / Gonsales R., Vuds R. // M.: Tehnosfera, 2005. S. 812-850 11. *Jane B.* Cifrovaja obrabotka izobrazhenij. M.: Tehnosfera, 2007.S.331-356. 12. *Sojfera V.A.* Metody komp'juternoj obrabotki izobrazhenij. M.: Fizmatlit, 2003. S.192-203.

Поступила в редколлегию 16.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Баранник В.В.

**Гаврилов Дмитрий Сергеевич**, курсант Харьковского национального университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Научные интересы: системы, технологии преобразования, кодирование, криптографическая защита. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79, тел. 8 066-2290463.

**Фустий Вадим Сергеевич**, курсант Харьковского национального университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Научные интересы: системы, нейронные сети, семантическая обработка изображений. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79.

**Поддубный Богдан Александрович**, курсант Харьковского национального университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79.

**Дрозд Константин Анатольевич**, курсант Харьковского национального университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79.

**Жуйков Дмитрий Борисович**, канд. техн. наук, доц., зам. декана факультета Харьковского национального университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79.

**Havrylov Dmytro Serhiiovych**, cadet Kharkiv National University of Aircraft of the name of Ivan Kozhedub. Scientific interests: systems, technologies of transformation, encoding, cryptographic protection. Address: Ukraine, 61023, Kharkiv, Sumskaya street, 77/79, tel. 8 066-2290463. E-mail: havrylov\_d@ukr.net.

**Fustii Vadym Serhiiovych**, cadet Kharkiv National University of Aircraft of the name of Ivan Kozhedub. Scientific interests: systems, neural networks, semantic processing of images. Address: Ukraine, 61023, Kharkiv, Sumskaya street, 77/79.

**Piddubnyi Bohdan Oleksandrovich**, cadet Kharkiv National University of Aircraft of the name of Ivan Kozhedub. Address: Ukraine, 61023, Kharkiv, Sumskaya street, 77/79.

**Drozdy Konstantyn Anatoliiovych**, cadet Kharkiv National University of Aircraft of the name of Ivan Kozhedub. Address: Ukraine, 61023, Kharkiv, Sumskaya street, 77/79.

**Zhuikov Dmitry Borisovich**, PhD, Deputy Dean of the Faculty, Kharkov National Air Force University named after Ivan Kozhedub. Address: Ukraine, 61023, Kharkiv, Sumskaya street, 77/79.

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.056.5

## ІЄРАРХІЧНИЙ КЛАСИФІКАТОР АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ПРИКОРДОННОГО ВІДОМСТВА

ЮДИН О.К., СТРЕЛЬБИЦЬКИЙ М.А.

Формулюється та доводиться теорема безпеки для взаємодіючих систем, що дозволить раціоналізувати обсяг робіт із забезпечення нормативного рівня захисту. Крім того, наводиться класифікація автоматизованих систем з урахуванням масштабу, ступеня взаємодії та виду інформації, яка обробляється.

**Ключові слова:** теорема безпеки для взаємодіючих систем, ієрархічний класифікатор автоматизованих систем.

**Keywords:** theorem of safety for interacting systems, hierarchical classifier automated systems.

### 1. Вступ

Стратегія національної безпеки України чітко визначає загрози інформаційній безпеці, кібербезпеці і безпеці інформаційних ресурсів України: ведення інформаційної війни проти України, уразливість об'єктів критичної інфраструктури, державних інформаційних ресурсів до кібератак, а також фізична і моральна застарілість системи охорони державної таємниці та інших видів інформації з обмеженим доступом [1]. Державна прикордонна служба України (ДПСУ), як суб'єкт забезпечення національної безпеки, зобов'язана протидіяти визначеним загрозам та забезпечити ефективну реалізацію політики у сфері захисту та охорони державного кордону України, а також охорони суверенних прав України в її виключній (морській) економічній зоні, у тому числі шляхом створення системи інтегрованого управління безпекою державного кордону, розвитку її інформаційної складової, зокрема забезпечення інформаційної безпеки. Стратегією передбачені пріоритети забезпечення інформаційної безпеки, окремими з яких є захищеність об'єктів критичної інфраструктури та державних інформаційних ресурсів.

Будь-яка система захисту передбачає обґрунтування необхідності її створення. На даному етапі проводиться аналіз нормативно-правових документів, визначається необхідність забезпечення захисту інформації та здійснюється її класифікація за правовим режимом, за рівнем обмеження доступу до неї, за вимогами до забезпечення конфіденційності, цілісності та доступності. На теперішній час розроблена достатньо представницька система класифікації автоматизованих інформаційних систем, але загальноприйнятих положень у даний час не існує. Найважливіше призначення класифікації – опис ключових влас-

тностей об'єктів, який надає можливість використовувати її для ідентифікації конкретних систем. Уточнення класифікації автоматизованих системи дозволить в подальшому сформулювати відповідні профілі захищеності складових інформації, яка циркулює в автоматизованій системі, а саме: конфіденційність, цілісність та доступність.

*Метою* дослідження є формування ієрархічного класифікатора автоматизованих систем, що містять державні інформаційні ресурси за масштабом, ступенем взаємодії та видом інформації, яка обробляється ними.

### 2. Основна частина дослідження

Інтегрована інформаційно-телекомунікаційна система (ІТТС) прикордонного відомства складається з множини взаємодіючих інформаційно-телекомунікаційних систем (ІТС), інформаційних систем (ІС) та підсистем (ПС) [2]. Окремі з них передбачають однокористувацький режим роботи, деякі – автономне функціонування в межах інформаційної системи, частина – спільне використання інформаційних ресурсів. Особливістю ІТТС ДПСУ є наявність міжвідомчих ІТС, розпорядником яких є Адміністрація Державної прикордонної служби України. В процесі модернізації складової ІТТС, особливо в частині захисту інформації, необхідно також враховувати взаємодію ІТС одна з одною. У випадку спільного використання інформаційних ресурсів декількома ІТС модернізація однієї з них вимагатиме перегляду систем захисту всіх інших.

Відповідно до НД ТЗІ 2.5-005-99 "Класифікація автоматизованих систем і стандартні профілі захищеності оброблюваної інформації від несанкціонованого доступу" виділено три ієрархічні класи автоматизованих систем (АС):

клас «1» – одномашинний однокористувацький комплекс, який обробляє інформацію однієї або кількох ступенів обмеження доступу;

клас «2» – локалізований багатомашинний багатокористувацький комплекс, який обробляє інформацію різних ступенів обмеження доступу;

клас «3» – розподілений багатомашинний багатокористувацький комплекс, який обробляє інформацію різних ступенів обмеження доступу.

Розглядаючи міжнародний стандарт ISO/IEC 27001:2005 "Information Management – Specification With Guidance for Use", можна стверджувати про необхідність запровадження четвертого класу автоматизованих систем – клас «4», який би враховував вирішення питань забезпечення захисту інформації в договорах з третіми особами [3].

Варто зазначити, що наведена класифікація автоматизованих систем дозволяє виокремити їх за масштабом, але не показує ступінь взаємодії з

іншими АС. З точки зору захисту інформації в одній АС такої класифікації цілком достатньо. Навіть у випадку взаємодії декількох автоматизованих систем, використовуючи наведену класифікацію, їх можна розглядати як одну, але більшого масштабу.

Разом із тим, такий підхід не є раціональним, оскільки вимагає проведення всього комплексу робіт (нормативно-правові, організаційні, інженерно-технічні) для системи вищого рівня (метасистеми). При цьому, у випадку модернізації однієї системи захист необхідно проводити для загальної АС (метасистеми). Таким чином, виникає питання, чи зміниться безпека системи в цілому при модернізації однієї підсистеми за умови, що рівень безпеки підсистеми та взаємодія з системою безпечні після модернізації.

Наведене вище дозволяє сформулювати теорему безпеки для взаємодіючих систем (транзитивність безпеки).

**Теорема.** Як... .. дві системи  $A, B, C$  безпечні та безпечна взаємодія  $A$  з  $B$  та  $B$  з  $C$ , то взаємодія  $A$  з  $C$  через  $B$  безпечна, і навпаки (рис. 1).

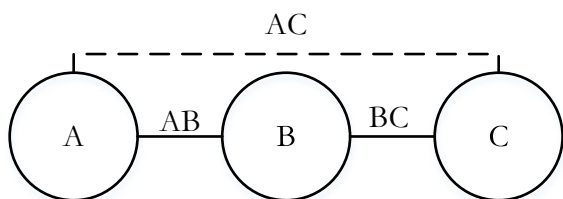


Рис. 1. Пояснення до теореми безпеки для взаємодіючих систем

Доведення. Припустимо, що взаємодія  $A$  з  $C$  через  $B$  не є безпечною. Для реалізації такого випадку повинна бути порушена безпека хоча б однієї підсистеми або порушена безпека взаємодії, що суперечить умові теореми. Зворотній напрям доводиться аналогічними міркуваннями. Теорема доведена.

Наслідком теореми є теоретичне обґрунтування безпеки системи в цілому з причини безпечності всіх складових. Припущення щодо порушення безпеки призводить до порушення безпеки хоча б однієї підсистеми або порушення безпеки взаємодії, що є недопустимим з умови та наслідку теореми.

В умовах інтеграції з європейським та світовим демократичним співтовариством виникло завдання взаємодії з автоматизованими системами інших держав або міжнародних організацій. Прикладом такого є підключення ІТС автоматизації прикордонного контролю (АПК) прикордонного відомства "Гарт-1" до єдиної міжнародної системи розшуку злочинців – баз даних Інтерполу [4, 5]. Таким чином, модернізація ІТС АПК є фактично модернізацією ІТС в цілому як

АС класу "3" відповідно до класифікації автоматизованих систем НД ТЗІ 2.5-005-99, а це в свою чергу вимагає проведення комплексу робіт із забезпечення захисту інформації.

Використання теореми безпеки для взаємодіючих систем у процесі модернізації дозволить обґрунтовано обмежити обсяг робіт із забезпечення захисту ІТС при зміні її складових.

Враховуючи викладене, у класифікації складових ІТС прикордонного відомства пропонується врахувати як масштаб системи, так і ступінь її взаємодії з іншими системами та розширити класи АС. Для того щоб класифікація АС відповідала своєму призначенню, необхідно забезпечити повноту класифікатора. Використання ієрархічного методу класифікації, як послідовного розподілу об'єктів на підлеглі класифікаційні угруповання, дозволить забезпечити зазначену вимогу та встановити взаємозв'язок між ними.

Загальну множину АС розіб'ємо на дві підмножини: автоматизовані системи, що взаємодіють з АС інших держав або міжнародних організацій, та автоматизовані системи, що взаємодіють тільки з внутрішньодержавними АС. Це дозволить розділити системи на підконтрольні національним правоохоронним органам та непідконтрольні. Внутрішньодержавні АС поділяються на міжвідомчі та внутрішньовідомчі. Автоматизовані системи відомств (установ, організацій тощо) поділяються на автономні та такі, які взаємодіють з декількома АС всередині відомства (не автономні). Зазначені автоматизовані системи відповідно розподіляються на локалізовані та розподілені АС. Семантика такого розподілу полягає в тому, чи контролюються всі складові системи (в тому числі мережева складова) відомством (локалізованість), чи ні (розподіленість). Прикладом взаємодії локалізованих ІТС прикордонного відомства може бути ІС "Гарт-6" – фінансового забезпечення та ІТС "Гарт-7" – кадрового забезпечення, що розгортаються, як правило, в одній будівлі органу охорони державного кордону та контролюються відповідними підрозділами військової частини повністю. Локалізовані АС в свою чергу розподіляються на багатомашинні та одномашинні системи, останні – на багатокористувацькі та однокористувацькі. Наведену вище класифікацію представимо у вигляді класифікаційної структури (рис. 2).

У відповідності з класифікаційною структурою сформуємо визначення для кожного класу АС, які обробляють інформацію однієї або декількох ступенів обмеження доступу:

- 1-й клас – одномашинний однокористувацький комплекс в межах однієї АС;
- 2-й клас – одномашинний багатокористувацький комплекс в межах однієї АС;



3-й клас – локалізований багатомашинний багатокористувацький комплекс в межах однієї АС;  
 4-й клас – розподілений багатомашинний багатокористувацький комплекс в межах однієї АС;  
 5-й клас – локалізований багатомашинний багатокористувацький комплекс в межах декількох АС одного відомства;  
 6-й клас – розподілений багатомашинний багатокористувацький комплекс в межах декількох АС одного відомства;  
 7-й клас – розподілений багатомашинний багатокористувацький комплекс в межах декількох АС як відомчої належності, так і з міжвідомчими автоматизованими системами;  
 8-й клас – розподілений багатомашинний багатокористувацький комплекс в межах декількох АС, які взаємодіють з автоматизованими системами інших держав або міжнародних організацій.

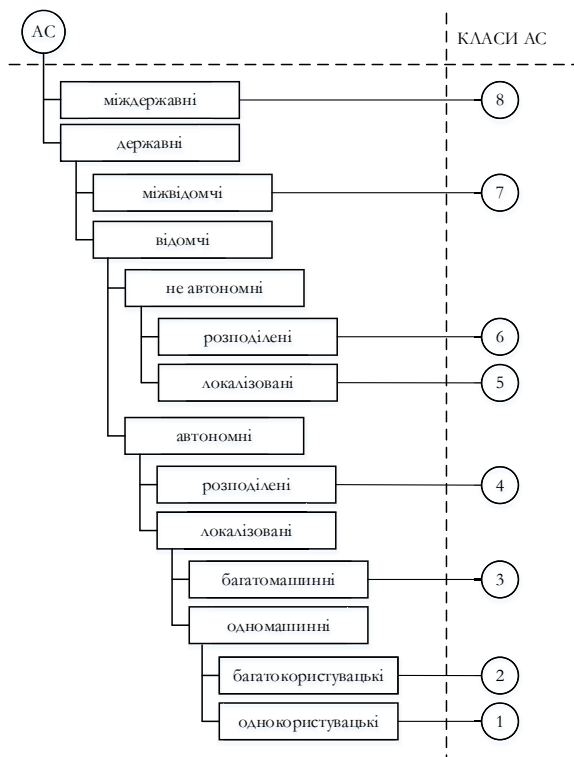


Рис. 2. Класифікаційна структура автоматизованих систем

Співвідношення класифікації автоматизованих систем відповідно до НД ТЗІ 2.5-005-99 і ISO/IEC 27001:2005 та запропонованої наведено в табл. 1.

Вимоги до системи захисту залежать від ступеня обмеження доступу до інформації, яка обробляється в автоматизованих системах.

Відповідно до положень Закону України від 13 січня 2011 року № 2939-VI «Про доступ до публічної інформації» інформація поділяється на відкриту публічну та публічну з обмеженим доступом, зокрема: конфіденційну, службову, таємну («таємно», «цілком таємно», «особливої важливості») інформації.

Таким чином, будь-яку складову ІТС можна класифікувати відповідно до класів та типу інформації, яка обробляється (табл. 2).

У випадку обробки інформації різних ступенів обмеження доступу їх перелік пропонується відокремлювати нижнім підкреслюванням або вказувати найвищий гриф обмеження доступу.

Таблиця 1  
 Співвідношення запропонованої класифікації та класифікації АС відповідно до НД ТЗІ 2.5-005-99 та ISO/IEC 27001:2005

Запропонована класифікація	Класифікація АС відповідно до НД ТЗІ 2.5-005-99			ISO/IEC 27001:2005
	клас «1»	клас «2»	клас «3»	клас «4»
1-й клас	+	-	-	-
2-й клас	-	-	-	-
3-й клас	-	+	-	-
4-й клас	-	-	+	-
5-й клас	-	+	-	-
6-й клас	-	-	+	-
7-й клас	-	-	+	+
8-й клас	-	-	+	+

Таблиця 2  
 Класифікатор складових ІТС за класом ІТС (ІС, ПС) та видом інформації, яка обробляється

Клас	Відкрита публічна інформація	Публічна інформація з обмеженим доступом				
		Конфіденційна	Службова	Таємна інформація		
				Таємно	Цілком таємно	Особливої важливості
1-й клас	1.В	1.К	1.С	1.Т	1.ЦТ	1.ОВ
2-й клас	2.В	2.К	2.С	2.Т	2.ЦТ	2.ОВ
3-й клас	3.В	3.К	3.С	3.Т	3.ЦТ	3.ОВ
4-й клас	4.В	4.К	4.С	4.Т	4.ЦТ	4.ОВ
5-й клас	5.В	5.К	5.С	5.Т	5.ЦТ	5.ОВ
6-й клас	6.В	6.К	6.С	6.Т	6.ЦТ	6.ОВ
7-й клас	7.В	7.К	7.С	7.Т	7.ЦТ	7.ОВ
8-й клас	8.В	8.К	8.С	8.Т	8.ЦТ	8.ОВ

Проведемо класифікацію інтегрованої міжвідомчої інформаційно-телекомунікаційної системи щодо контролю осіб, транспортних засобів та вантажів, які перетинають державний кордон – "Аркан". Відповідно до функцій [6] суб'єкти системи "Аркан" здійснюють поповнення інформаційних ресурсів та надають інформацію з інформаційних ресурсів інформаційних систем органів виконавчої влади, тобто здійснюють міжвідомчу взаємодію. Це визначає клас даної ІТС як 7-й, а саме розподілений багатомашинний багатокористувацький комплекс, який обробляє

інформацію різних ступенів обмеження доступу в межах декількох ІТС (ІС, ПС) як відомчої належності, так і з міжвідомчими автоматизованими системами.

Аналіз переліку інформаційних ресурсів (баз даних) та функціональних завдань системи "Аркан" показав вид інформації, що обробляється, а саме: відкрита, конфіденційна та службова інформації. Таким чином, ІТС "Аркан" має класифікацію 7.В\_К\_С.

### 3. Висновок

Наведена класифікація автоматизованих систем дозволить в подальшому сформувати відповідні профілі захищеності складових інформації, яка циркулює в автоматизованій системі, а саме: конфіденційності, цілісності та доступності.

Сформульована та доказана теорема безпеки для взаємодіючих систем (транзитивність безпеки) дозволить науково обґрунтовано раціоналізувати обсяг робіт із забезпечення нормативного рівня захисту систем вищого рівня при модернізації їх складових.

**Література:** 1. *Про Стратегію національної безпеки України* / Указ Президента України від 26 травня 2015 року № 287/2015. 2. *Про прийняття на озброєння військ програмних компонентів глобальної автоматизованої інформаційної системи прикордонних військ України (шифр „Гарт”)* / Наказ Державного комітету у справах охорони державного кордону України від 20 серпня 2002 р. № 474. 3. *Державні інформаційні ресурси. Методологія побудови класифікатора загроз* : Монографія / Юдін О.К., Бучик С.С. К.: НАУ, 2015. 214 с. 4. *Прикордонники презентували Прем'єр-міністру України Стратегію розвитку відомства* [Електрон. ресурс] Режим доступу: [http://dpsu.gov.ua/ua/about/news/news\\_8319.htm](http://dpsu.gov.ua/ua/about/news/news_8319.htm). 5. *Представники іноземної делегації ознайомилися з інноваціями прикордонного контролю* [Електрон. ресурс] Режим доступу: [http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art\\_id=248441509](http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art_id=248441509). 6. *Про затвердження Положення про інтегровану міжвідомчу інформаційно-телекомунікаційну систему щодо контролю осіб, транспортних засобів та вантажів, які перетинають державний кордон* / Наказ від 03.04.2008 N 284/287/214/150/64/175/266/75. Адміністрація Державної прикордонної служби України, Державна митна служба України, Державна податкова адміністрація України, Міністерство внутрішніх справ України, Міністерство закордонних справ України, Міністерство праці та соціальної політики України, Служба безпеки України, Служба зовнішньої розвідки України. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 12 травня 2008 р. за N 396/15087.

### Transliterated bibliography:

1. *Pro Stratehiiu natsionalnoi bezpeky Ukrainy* / Ukaz Prezidenta Ukrainy vid 26 travnia 2015 roku № 287/2015. 2. *Pro pryiniattia na ozbroiennia viisk prohramykh komponentiv hlobalnoi avtomatyzovanoi informatsiinoi systemy prykordonnykh viisk Ukrainy (shyfr „Hart”)* / Nakaz Derzhavnoho komitetu u spravakh okhorony

derzhavnoho kordonu Ukrainy vid 20 serpnia 2002 r. № 474.

3. *Derzhavni informatsiini resursy. Metodolohiia pobudovy klasyfikatora zahroz* : monohrafiia / Yudin O.K., Buchyk S.S. K.: NAU, 2015. 214 s.

4. *Prykordonnyky prezentuvaly Premier-ministru Ukrainy Stratehiiu rozvytku vidomstva* [Elektron. resurs] Rezhym dostupu: [http://dpsu.gov.ua/ua/about/news/news\\_8319.htm](http://dpsu.gov.ua/ua/about/news/news_8319.htm).

5. *Predstavnyky inozemnoi delehatsii oznaiomylysia z innovatsiinyi prykordonnoho kontroliu* [Elektron. resurs] Rezhym dostupu: [http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art\\_id=248441509](http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art_id=248441509).

6. *Pro zatverdzhennia Polozhennia pro intehrovanu mizhvidomchu informatsiino-telekomunikatsiinu systemu shchodo kontroliu osib, transportnykh zasobiv ta vanta-zhiv, yaki peretynaiut derzhavnyi kordon* / Nakaz vid 03.04.2008 N 284/287/214/150/64/175/266/75 Administratsiia Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy, Derzhavna mytna sluzhba Ukrainy, Derzhavna podatkova administratsiia Ukrainy, Ministerstvo vnutrishnikh sprav Ukrainy, Ministerstvo zakordonnykh sprav Ukrainy, Ministerstvo pratsi ta sotsialnoi polityky Ukrainy, Sluzhba bezpeky Ukrainy, Sluzhba zovnishnoi rozvidky Ukrainy. Zareiestrovano v Ministerstvi yustytysii Ukrainy 12 travnia 2008 r. za N 396/15087

Надійшла до редколегії 12.03.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Бараннік В.В.

**Юдін Олександр Костянтинович**, д-р техн. наук, професор, Директор інституту комп'ютерних інформаційних технологій, завідувач кафедри комп'ютеризованих систем захисту інформації Національного авіаційного університету, член експертної та науково-методичної ради Міністерства освіти та науки України в галузі «Інформаційна безпека», член-кореспондент Академії Зв'язку України, Лауреат Державної премії України у галузі науки і техніки. Адреса: Україна, 03680, Київ, пр. Космонавта Комарова 1, корп. 6. E-mail: [kszi@ukr.net](mailto:kszi@ukr.net)

**Стрельбіцький Михайло Аналолійович**, канд. техн. наук, доцент, докторант Національної академії Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького. Адреса: Україна, 29003 м. Хмельницький, вул. Шевченка, 46. E-mail: [m.strelb@ukr.net](mailto:m.strelb@ukr.net)

**Yudin Alexander Konstantinovich**, D. of Engineering, professor. Member of expert and scientifically-methodical advice of Department of education and science of Ukraine in an area «Informative security». Corresponding member of Academy of Connection of Ukraine. Laureate of the State bonus of Ukraine in area of SciTech. Director of institute of computer information technologies, manager by the department of the computerized systems for information the National Aviation University. Address: Ukraine, 03680, Kiev, pr. Kosmonavta Komarova 1, korp. 6. E-mail: [kszi@ukr.net](mailto:kszi@ukr.net)

**Strelbtskiy Mykhailo Anatoliyovych**, PhD in Eng., doctoral of National Academy of State Border Service of Ukraine named after B. Khmelnytskyi. Address: Ukraine, 29003, Hmel'nic'kij, Shevchenka Str, 46. E-mail: [kszi@ukr.net](mailto:kszi@ukr.net)

## ПРОБЛЕМНЫЕ АСПЕКТЫ ДИСТАНЦИОННОГО ВИДЕОСЕРВИСА В УСЛОВИЯХ КРИЗИСНОЙ СИТУАЦИИ КРАСНОРУЦКИЙ А.А.

Проводится анализ проблемных аспектов существующих методов обработки изображений на борту летательного аппарата, которые относятся к направлению поиска и сохранения семантической (информационной) составляющей аэрофотоснимка. Обосновывается направление в разработке научных основ повышения оперативности доставки видеoinформации с борта летательного аппарата с сохранением достоверности информации.

**Ключевые слова:** аэромониторинг, аэрофотоснимок, изображение, видеоданные, оперативность, достоверность, кодирование.

**Key words:** aero monitoring, aero-photo, image, video, efficiency, reliability, coding.

### Вступление

В условиях работы системы управления в кризисной ситуации к дистанционному видеосервису предъявляются особые требования: обеспечение требуемого уровня оперативности доставки видеoinформации (зачастую аэрофотоснимок) и требуемого уровня предоставления информации на доставленном аэрофотоснимке.

На этом этапе возникает дисбаланс: с одной стороны, обеспечивается возможность требуемого уровня оперативности доставки аэрофотоснимка, но с невысоким уровнем достоверности информации, а с другой – обеспечивая требуемый уровень предоставления информации на доставленном аэрофотоснимке, теряем его оперативность доставки, что, в свою очередь, сказывается на достоверности получаемой видеомодели аэрофотоснимка относительно реальных событий. Объясняется это особенностью цифрового аэрофотоснимка и современных технологий бортовой обработки изображений в системе предоставления видеослужб.

Существующие подходы предоставления видеослужб в условиях кризисных ситуаций, как показывает практика, являются неэффективными. Поэтому целью исследования является анализ проблемных аспектов существующих методов обработки изображений, направленных на повышение оперативности доставки информации и сохранение ее достоверности в условиях кризисных ситуаций.

### 1. Снижение объемов видеоданных, поступающих в бортовой канал связи

Современные технологии обработки изображений (компрессии, фильтрации), основанных на выявлении различных закономерностей с последующим

этапом сокращения избыточности (статической, структурной), не вскрывают семантическую информацию, а соответственно и не направлены на ее сохранение (не допущение к ее изменению).

Существующее противоречие между необходимой информационной интенсивностью аэрофотоснимков и пропускной возможностью каналов связи устраняется методами компактного представления видеоданных (сжатие). Однако плата за такой подход: снижение информативности изображений (снижение качества, частичная потеря информации) или же возрастание вычислительной сложности алгоритма сжатия (увеличение требований к производительности процессора или повышение временных затрат на реализацию алгоритма сжатия). По отношению к аэрофотоснимку: первое ставит под сомнение достоверность информации полученного аэрофотоснимка, второе снижает достоверность получаемой видеомодели аэрофотоснимка относительно реальных событий.

Поэтому проводится анализ проблемных аспектов существующих методов обработки изображений (компактного представления данных), которые направлены на снижение времени доставки информации (аэрофотоснимка) с борта летательного аппарата путем снижения информативной интенсивности аэрофотоснимка, для обеспечения требуемой эффективности дешифрирования полученной информации.

Первый проблемный аспект относится к вопросу снижения объемов видеоданных, поступающих в канал передачи данных с борта летательного аппарата.

В настоящее время для снижения информативной интенсивности аэрофотоснимка при доставке его с борта летательного аппарата применяют различные технологии компрессии видеоданных. Связано это с довольно низкой пропускной способностью бортовых каналов передачи видеоданных. Такая технология направлена на повышение информационной плотности синтаксического описания всего изображения на основе выявления его информативных составляющих. Однако здесь присутствует следующее противоречие. Классические методы компрессии видеоданных (на платформах JPEG, JPEG2000) строятся на спектрально-частотном представлении изображения с последующей их квантизацией. В таком спектре концентрируется значительная часть энергии в небольшом количестве спектральных низкочастотных компонент (составляющих спектра), которые и являются информативными. Таким образом, информативные признаки изображения путем учета психовизуаль-



ных закономерностей [1-2]. Здесь не учитывается неравномерность распределения семантической (информативной) составляющей по всему аэрофотоснимку. Кроме того, применение таких методов имеет ряд негативных последствий:

- поскольку низкочастотные спектральные компоненты несут информацию о структурной части объектов изображения, то они являются важным аргументом для правильной идентификации объектов. Однако при восстановлении изображения (обратный процесс компрессии) часть низкочастотных компонент или восстанавливаются с какой-то погрешностью, или же вовсе не восстанавливаются. Объясняется это распределением ошибки (шумов) по всем элементам изображения вследствие квантизации ее спектральных компонент. Это ведет к потере семантически значимой информации для дешифрирования:

- нет возможности выделения информативных признаков на фоновых участках аэрофотоснимка (прямая трава, следы от колес). Следствием этого является притупление косвенных признаков дешифрирования объектов интереса;

- отсутствует баланс психовизуальной избыточности и безвозвратной потери значимой информации. На определенном этапе это приводит к безвозвратной потере высокочастотных компонент (яркостного перепада) элементов изображения и как следствие – к существенному снижению разрешающей способности аэрофотоснимка;

- различные виды ортогональных преобразований (в зависимости от степени корреляции межэлементной зависимости изображения), как составная часть платформы JPEG, не могут равномерно аппроксимировать различные области аэрофотоснимка, такие как резкие и плавные изменения яркости (наличие теней, фоновый пейзаж). Следствием этого является внесение дополнительной помехи при обработке изображений, что, в свою очередь, ведет к безвозвратным потерям семантической составляющей аэрофотоснимка.

В то же время существует другая группа методов обработки изображений, основанных на выявлении и кодировании статистических закономерностей (LZ, GIF, TIFF, арифметическое кодирование). Однако такие методы характеризуются незначительной степенью компрессии аэрофотоснимка, а в некоторых случаях и наоборот, способствуют увеличению объемов исходного изображения. Объясняется это низким коэффициентом корреляционной зависимости элементов изображения и как следствие невысокой вероятностью повторения символов элементов изображения [3-4].

Третья группа методов обработки изображений (фрактальные методы) характеризуется сложным алгоритмом обработки данных и значительным временем (порядка несколько часов) обработки видеоданных. Ограниченные производительные возможности бортовой аппаратуры обработки видеоданных, через невысокие энергетические возможности бортового генератора, накладывают ограничения на реализацию сложных алгоритмов обработки видеоданных (в плане количества арифметических и логических вычислительных операций).

Таким образом, существующие группы методов обработки видеоинформации имеют существенные недостатки: обеспечивается возможность доведения видеоинформации в установленные временные сроки, но с частичным разрушением семантической составляющей. Наоборот, при повышении семантической составляющей повышается информационная интенсивность видеопотока и, в конечном итоге, увеличивается время доведения видеоинформации. Кроме того, коды и конструкции, которые базируются на известных методах, характеризуются повышенной уязвимостью при прохождении видеоданных по радиоканалам (из-за снижения избыточности информации повышается вероятность ее искажения в результате воздействия помех, присутствующих в каналах связи).

Практически все эти технологии имеют один и тот же недостаток – это определенный показатель степени потери качества (данных) в результате компрессии с последующим восстановлением изображения. Применение такого подхода к аэрофотоснимку ведет к частичной потере мелких (на аэрофотоснимке) объектов, что, в конечном итоге, ведет или к необъективности формирования донесения, или же к увеличению времени работы дешифровщика (требуются дополнительные аэрофотоснимки с большим разрешением для укрупнения объектов на аэрофотоснимке).

Для решения первого проблемного аспекта предлагается ввести концепцию, заключающуюся в принципиально новом подходе в области обработки данных, а именно обеспечение доступа не к числовым показателям данных изображения, а к смысловой информации изображения. Ставить за цель сохранение не синтаксических данных элементов изображения (сравнение посредством СКО, PSNR), а целостности семантической информации в изображении. Осуществить переход от работы с изображением к работе с объектами на этом изображении.

Для осуществления такого подхода необходимо разработать наукоемкие и технологические основы для оценки аэрофотоснимка на предмет выявления и оценивания важности семантически значимых участков в целях определения наличия объектов интереса.

## **2. Исследование семантической составляющей аэрофотоснимка**

Второй проблемный аспект относится к вопросу исследования семантической составляющей аэрофотоснимка.

Этот проблемный аспект связан с технологиями распознавания образов.

Существует множество алгоритмов, решающих задачу распознавания образов. Однако все они осуществляют только фильтрацию контуров. Результатом этого, после обработки таким фильтром, вместо изображения появляются только контуры, а информация о ландшафте аэрофотоснимка теряется (применяется для обработки рентгеновских снимков). Такой подход в области обработки изображений с последующей дешифровкой не пригоден, так как теряется связь объектов интереса и ландшафтом местности, где расположен данный объект.

Существует другой подход распознавания образов – это наличие априорной информации об объектах мониторинга. Однако в условиях кризисной ситуации (высокая динамика смены обстановки) здесь появляются такие недостатки: априорная недостаточность информации, наличие значительного количества предметов (объектов), которые не представляют интерес [5]. Результатом этого является повышение временных затрат на обработку изображения и повышение вероятности ошибки дешифровщика при дешифрировании аэрофотоснимка.

Для решения второго проблемного аспекта предлагается создать методы и метрики семантического анализа аэрофотоснимков, направленных на выявление и выделение значимых объектов, представляющих интерес.

При семантическом анализе аэрофотоснимка следует перейти от идентификации объектов к идентификации семантической информативности сегментов аэрофотоснимка. Предлагается распознавать не просто объекты, а ввести правило оценки присутствия этих объектов на аэрофотоснимке.

Для осуществления такого подхода необходимо разработать теоретическую базу и методы интеллектуальной идентификации сегментов аэрофотоснимка по степени информативности в семантическом аспекте.

## **3. Оценивание семантической информативности участков аэрофотоснимка с учетом выявления дешифровочных признаков объектов интереса**

Третий проблемный аспект относится к вопросу теоретической платформы оценивания семантической информативности участков (сегментов) аэрофотоснимка с учетом выявления дешифровочных признаков объектов интереса на этом аэрофотоснимке.

Существующие методики определения важности информации на определенных участках (сегментах) аэрофотоснимка базируются на оценке экспертов. Однако такой подход вносит субъективный характер относительно принятия решения по выявлению объектов интереса, поскольку зависит от квалификации дешифровщика и наличия априорной информации. Это ведет к внесению ошибочных рекомендаций и увеличению временных затрат на этапы дешифрирования [6].

В то же время есть методики оценивания весовых коэффициентов сегментов изображения. Но методов оценивания семантически важных сегментов изображения и количества информации в них не существует.

Для решения третьего проблемного аспекта предлагается создать метрики оценки количества семантической информации в сегментах аэрофотоснимка на основе выявления структурных закономерностей по контурной информации и оценивания количества информативности в промежуточном представлении сегментов аэрофотоснимка. Для этого необходимо разработать теоретическую базу методов косвенной оценки семантической (информативной) составляющей изображения (аэрофотоснимка) на основе выявления структурных закономерностей по контурной информации и количественной оценки (оценки весовых коэффициентов) информативности в промежуточном представлении аэрофотоснимка с учетом выявления дешифровочных признаков объектов интереса.

## **4. Эффективное синтаксическое описание семантических составляющих аэрофотоснимка с учетом вскрытия дешифровочных признаков объектов интереса**

Четвертый проблемный аспект относится к вопросу эффективного синтаксического описания семантических (информативных) составляющих аэрофотоснимка с учетом вскрытия дешифровочных признаков объектов интереса.

Для обнаружения объекта дешифровщик оперирует не только контурной информацией, но и яркостной составляющей объектов интереса, а также

общим перепадом цветов ландшафта (определение косвенных дешифровочных признаков). Однако существующие методы, формирующие информативное выделение контуров объектов изображения и одновременный учет (описание) яркостной составляющей аэрофотоснимка (изображения), находятся на недостаточном уровне развития.

Здесь возникает проблема: есть методики выделения контуров объектов в изображении и есть методики описания яркостной составляющей объектов в этих изображениях, но методов эффективного синтаксического описания семантических составляющих аэрофотоснимка с учетом вскрытия дешифровочных признаков объектов интереса не существует

Для решения четвертого проблемного аспекта предлагается создать технологию эффективного синтаксического описания семантических составляющих аэрофотоснимка с учетом вскрытия важных дешифровочных признаков объектов интереса. Необходимо разработать методы обработки изображений, которые смогут одновременно выделить контурную информацию и обеспечить учет яркостной составляющей объектов интереса.

##### **5. Ошибки выделения информативных сведений в результате семантической обработки аэрофотоснимка**

Пятый проблемный аспект относится к вопросу ошибок выделения информативных сведений в результате семантической обработки аэрофотоснимка.

Анализ методов семантической обработки изображений показывает, что существует противоречие между вычислительной сложностью алгоритмов обработки и вероятностью ошибочного восприятия дешифровщиком объектов интереса восстановленного (после применения метода обработки изображений) аэрофотоснимка.

Методы обработки изображений без потери качества и невысокой вычислительной сложности (на фундаменте выявления длин серий, коды Хаффмана) не позволяют на достаточном уровне повысить информативную плотность аэрофотоснимка. В то же время методы обработки изображений на платформе JPEG позволяют повысить информативную плотность аэрофотоснимка до заданного уровня. Однако существует высокая вероятность потери ключевой составляющей аэрофотоснимка при дешифрировании, тем самым ставя под угрозу сохранение семантически значимой информации в модели аэрофотоснимка. Это влечет за собой высокую вероятность невыполнения требования по

сохранению ее актуальности для работы дешифровщика в режиме реального времени.

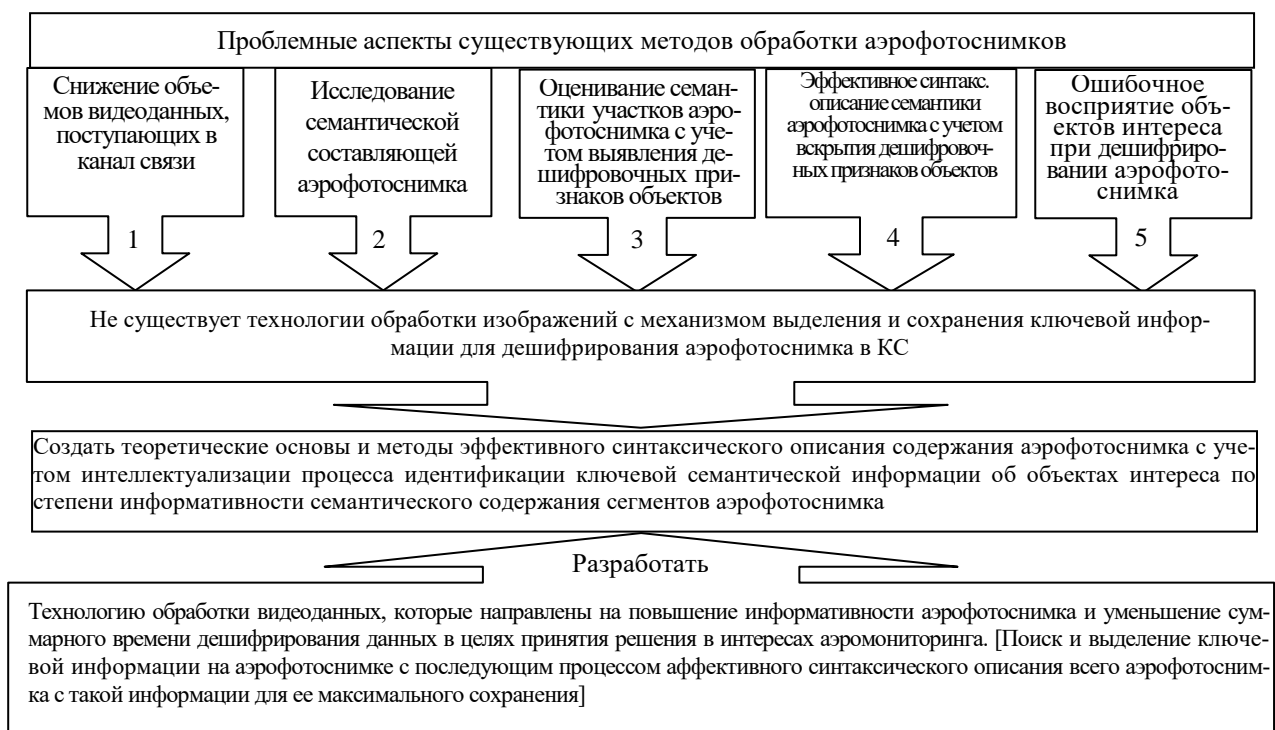
Применение методов на основе вейвлет-преобразований влечет за собой применение алгоритмов высокой вычислительной сложности, что, в свою очередь, сказывается на росте временных параметров при обработке аэрофотоснимков. Это влечет за собой высокую вероятность невыполнения требований по сохранению актуальности полученной информации для работы дешифровщика в режиме реального времени.

Общее для всех рассмотренных методов обработки изображений – это неспособность выделения ключевой информации для дешифрирования.

Для решения пятого проблемного аспекта предлагается разработать теоретическую базу и методы обработки аэрофотоснимков, с одной стороны, позволяющие выделять ключевую информацию об объектах интереса, с другой – имеющие вычислительную платформу невысокой сложности (соизмеримую с производительной мощностью бортового генератора).

Поэтому для решения этих пяти проблемных аспектов необходимо создать теоретические основы и методы эффективного синтаксического описания содержания аэрофотоснимка с учетом интеллектуализации процесса идентификации ключевой семантической информации об объектах интереса по степени информативности семантического содержания сегментов аэрофотоснимка (рисунок).

Предлагается создать технологию обработки видеоданных, которые направлены на повышение информативности аэрофотоснимка и уменьшение суммарного времени дешифрирования данных в целях принятия решения в интересах аэромониторинга, т.е. ввести принципиально новый подход в обработке изображений, а именно поиск и выделение (подсвечивание) нужного (важного) объекта на аэрофотоснимке.



Структурная схема проблемных аспектов существующих методов обработки изображений, которые направлены на снижение оперативной доставки аэрофотоснимка с борта летательного аппарата и обеспечение требуемой эффективности дешифрирования полученной информации

## Выводы

1. Обосновано, что разработку научных основ повышения оперативности доставки видеoinформации с борта летательного аппарата в системе аэромониторинга, особенно в условиях кризисных ситуаций, необходимо проводить в направлении решения противоречия, в основе которого лежит дисбаланс между требуемым уровнем оперативности доставки информации и ее достоверностью относительно реальных событий.
2. Доказано, что ядром такого дисбаланса является особенность цифрового аэрофотоснимка и особенность современных технологий обработки изображений.
3. Установлено, что современные технологии обработки изображений, основанные на выявлении различных закономерностей с последующим этапом сокращения избыточности, не вскрывают семантическую информацию, а соответственно и не направлены на ее сохранение, что накладывает определенные ограничения на использование аэромониторинга в условиях кризисной ситуации.
4. Проведен анализ проблемных аспектов для методов обработки аэрофотоснимков, направленных на разработку концептуальных аспектов по решению проблемы предоставления информации на аэрофотоснимке дешифровщику в условиях кризисной ситуации.
5. Обосновано, что системный подход к решению сформулированных проблемных аспектов для ме-

тодов обработки аэрофотоснимков заключается в разработке технологии обработки видеоданных, направлен на поиск и выделение важных объектов на аэрофотоснимке.

**Литература:** 1. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2003. 384с. 2. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. СПб.: ВУС, 1999. 204 с. 3. Гонсанс Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Пер. с англ. М.: Техносфера, 2005. 1072 с. 4. Королев А.В., Баранник В.В. Метод комплексной обработки изображений / ИУСЖТ. 1999. №5. С.10-17. 5. Barannik V., Ryabukha Yu., Krasnorutsky A. Method of effective syntactic description of frames using the integrity of the video information resource / IEEE Second International Scientific-Practical Conference [“IEEE Problems of Infocommunications Science and Technology, PICS&T’2015”], (Kharkiv, Ukraine, October 13-15, 2015) / Kharkiv: 2015. P.234-237. 6. Barannik V., Gancarczyk J., Krasnorutsky A. Method of semantic masking of an aerial photograph / VI International conference of students and doctoral students, "The engineer of the XXIst century", 2016, (Bielsko-Biala, December 2, 2016) / Bielsko-Biala: 2016. P. 185-190.

**Transliterated bibliography:**

1. *Vatolin D., Ratushnyak A., Smirnov M., Jukin V.* Me-tody szhatija dannyh. Ustrojstvo arhivatorov, szhatie izobrazhenij i video. M.: DIALOG – MIFI, 2003. 384s.
2. *Vorob'ev V.I., Gribunin V.G.* Teorija i praktika vejevlet-preobrazovanija. SPb.: VUS, 1999. 204 s.
3. *Gonsans R., Vuds R.* Cifrovaja obrabotka izobrazhenij. Per. s angl. M.: Tehnosfera, 2005. 1072 s.
4. *Korolev A.V., Barannik V.V.* Metod kompleksnoj obrabotki izobrazhenij / IUSZhT. 1999. #5. S.10-17.
5. *Barannik V., Ryabukha Yu., Krasnorutsky A.* Method of effective syntactic description of frames using the integrity of the video information resource / IEEE Second International Scientific-Practical Conference [“IEEE Problems of Infocommunications Science and Technology, PICS&T’2015”], (Kharkiv, Ukraine, October 13-15, 2015) / Kharkiv: 2015. P.234-237.

6. *Barannik V., Gancarczyk J., Krasnorutsky A.* Method of semantic masking of an aerial photograph / VI International conference of students and doctoral students, "The engineer of the XXIst century", 2016, (Bielsko-Biala, December 2, 2016) / Bielsko-Biala: 2016. P. 185-190.

Поступила в редколлегию 12.05.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Безрук В.В.

**Красноруцкий Андрей Александрович**, канд. техн. наук, с.н.с., докторант Харьковского национального университета Воздушных Сил им. И. Кожедуба. Научные интересы: информационные технологии. Адрес: Украина, 61023, ул. Сумская, 77/79, тел. 380633297171.

**Andrei Krasnorutsky Ph.D.**, Kharkiv National University of Air Force named after I. Kozhedub. Scientific interests: information technology. Address: Ukraine, 61023, ul. Sumskaya, 77/79, tel. 380633297171.

УДК 621.391

**Виявлення незайнятих частотних каналів у когнітивних радіомережах** / В.М. Безрук, С.А. Іваненко // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2017. № 1. С. 4-8.

Розглянуті основні методи виявлення сигналів, застосування яких можливо у рамках концепції когнітивного радіо. Визначені основні переваги та недоліки цих методів. Виявлено, що основними вимогами до роботи цих методів є висока швидкість обробки, малий час спостереження, а також мале енергоспоживання під час реалізації. Розглянуті методи радіомоніторингу у когнітивних радіомережах. Було виявлено, які ситуації можливі під час радіомоніторингу. Запропонований варіант подолання апріорної невизначеності, яка виникає під час радіомоніторингу, що полягає у використанні нетрадиційних методів виявлення сигналів. Ці методи відрізняються від класичних тим, що в них враховується клас невідомих сигналів.

Табл. 1. Іл. 2. Бібліогр.: 9 назв.

UDC 621.391

**The detection of unoccupied frequency channels in cognitive radio** / V.M. Bezruk, S.A. Ivanenko // *Radioelektronika i informatika*. 2017. N 1. P. 4-8.

In the article we consider the use of the basic methods of signal detection which is possible within the concept of cognitive radio. The main advantages and disadvantages were defined, it is revealed that the main requirements for these methods are: the high processing speed, small the observation time and low power consumption to implement. The methods of spectrum monitoring for cognitive radio networks were considered. The situations that are possible during radio monitoring were identified. The option of overcoming a priori uncertainty, which arises during radio monitoring, was proposed. It consists of using of unconventional methods of signal detection. These methods differ from the classical in that they use a class of unknown signals.

Tab. 1. Fig. 2. Ref.: 9 items.

УДК 681.518.5

**Аналіз ініціативи альянсу ZigBee щодо створення універсальної мови dotdot для IOT** / В.М. Безрук, В.О. Власова, С.А. Кривенко // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2017. № 1. С. 9–13.

Розглянута будова мережі ZigBee для створення мережі моніторингу та контролю за станом ліній електропередач. Технології IoT традиційно використовують в мережах з низькою швидкістю, низькою потужністю і короткими пакетами даних. Аналіз зосереджений на прикладі реалізації концепції "розумного міста" з підтримкою додатків IoT. Нарешті, експериментальні результати показали ефективність і стабільність роботи системи.

Іл. 6. Бібліогр.: 6 назв.

UDC 681.518.5

**Analysis ZigBee Alliance initiative to create a universal language for IOT dotdot** / V. Bezruk, V. Vlasova, S. Krivenko // *Radioelektronika i informatika*. 2017. N 1. P. 9-13.

We consider the structure of the ZigBee network to create a network for monitoring and control of power lines. IoT technologies traditionally used in networks with low speed, low power and short data packets. The analysis focuses on the example of implementing the concept of "smart city" enabled applications IoT. Finally, experimental results show the effectiveness and stability of the system.

Fig. 6. Ref.: 6 items.

УДК 004.627

**Прогнозування параметрів стиснення з втратами зображень з завадами** / О.Н. Земляченко, С.К. Абрамов, В.В. Лукін // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2017. № 1. С. 14-21.

Розглянуті особливості стиснення з втратами зображень, на яких присутні завади. Аналіз проведено для кодера AGU, що заснований на ДКП. Показано, що є можливість прогнозувати пікове відношення сигнал-завада й покращення чи погіршення метрики візуальної якості при різних параметрах стиснення (значеннях кроку квантування). Можна також прогнозувати коефіцієнт стиснення. Наявність цих можливостей дозволяє обрати параметри стиснення з урахуванням пріоритету вимог.

Табл. 4. Іл. 4. Бібліогр.: 16 назв.

UDC 004.627

**Lossy compression characteristics prediction for noisy images** / A.N. Zemlyachenko, S.K. Abramov, V.V. Lukin // *Radioelektronika i informatika*. 2017. N 1. P. 14-21.

Peculiarities of lossy compression of images with noise are considered. Analysis has been done for coder AGU based on DCT. The possibility of prediction of peak signal-to-noise ratio and improving or worsening visual quality metrics depending on compression parameters (quantization step) are demonstrated. The possibility of compression ratio prediction is shown as well. These possibilities allow providing compression parameters according to requirements' priority.

Tab. 4. Fig. 4. Ref.: 16 items.

УДК 621.327:681.5

**Метод криптокомпресійного представлення зображень на основі двокаскадного узагальненого позиційного кодування в базисі по верхніх межах** / В.В. Бараннік, С.О. Сідченко, Д.В. Бараннік // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2017. № 1. С. 22–27.

Запропонований метод криптокомпресійного представлення зображень на основі плаваючої схеми узагальненого позиційного кодування в базисі по верхніх

UDC 621.327:681.5

**The method of cryptocompression presentation of images on the basis of a two-cascade generalized position coding in the basis along the upper bounds** / V.V. Barannik, S. A. Sidchenko, D.V. Barannik // *Radioelektronika i informatika*. 2017. N 1. C. 22–27.

In the article the method of cryptocompression presentation of images on the basis of the floating scheme of generalized positional coding in the basis along the upper

межах з урахуванням двійкового признакового простору. Метод полягає в: біноміальному кодуванні двійкового представлення елементів фрагмента зображення; формуванні кодограм з урахуванням отриманих структурних особливостей кодованого фрагмента зображення на основі плаваючої схеми узагальненого позиційного кодування в базисі по верхніх межах двійкового структурного простору по кількості серій одиниць.

Бібліогр.: 13 назв.

УДК 51-74

**Аналіз протоколів маршрутизації бездротової сенсорно-актуаторної мережі і метод їх вибору** / В.М. Безрук, В.О. Власова, Ю.В. Скорик, Ю.М. Колтун, А.І. Костромицький // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2017. № 1. С. 28–32.

Розглянуто практичні особливості застосування методу аналізу ієрархій для вибору кращого варіанту протоколу маршрутизації в БСАС. Проведено порівняльний аналіз характеристик існуючих протоколів маршрутизації в БСАС. Від експертів отримано парні порівняння характеристик 11 протоколів маршрутизації. Сформовано матриці парних порівнянь, за якими обчислені компоненти власного вектора і вектора пріоритетів. За максимальних значень компонент вектора пріоритетів обраний кращий протокол маршрутизації – GAF для застосування в польових БСАС з локалізацією елементів.

Табл. 3. Бібліогр.: 4 назви.

УДК 621.327:681.5

**Метод формування двокомпонентного коду для компактного представлення фрагмента зображення у телекомунікаційних системах** / О.М. Додух, В.В. Хіменко, І.О. Мачалін, Д.А. Тарасенко // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2017. № 1. С. 33-37.

Проводиться розробка методу стиснення зображень на основі побудови узагальненого двокомпонентного кодового представлення на базі сумісного використання елементів координатно-структурного і рядково-масштабуючого представлення фрагмента зображення. Показано, що це забезпечує обробку цілісної інформації про фрагмент зображення, а узагальнене формування кодової комбінації здійснюється на основі двокомпонентного інтегрованого принципу.

Бібліогр.: 11 назв.

УДК 621.391

**Нелінійна модель багатошляхової багатоадресної маршрутизації в телекомунікаційній мережі** / А. Мерсні, А.Є. Ільяшенко // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2017. № 1. С. 38–42.

З метою забезпечення оптимального балансування навантаження в телекомунікаційній мережі вдосконалено потокову модель багатоадресної маршрутизації в напрямку реалізації багатошляхової стратегії передачі пакетів. Запропоновано вихідний багатоадресний потік розбивати на множину підпотоків, для кожного з яких будується оптимальне дерево – багатоадресний маршрут. Задача багатошляхової багатоадресної маршрутизації представлена в оптимізаційній формі, сприяючи найбільш ефективному балансуванню навантаження в мережі.

Табл. 3. Іл. 3. Бібліогр.: 7 назв.

bounds is proposed, taking into account the binary characteristic space. The method consists in: binominal coding of the binary presentation of the elements of the image fragment; the formation of codograms taking into account the obtained structural features of the coded image fragment on the basis of a floating scheme of generalized positional coding in the basis along the upper boundaries of the binary structure space by the number of series of units.

Ref.: 13 items.

UDC 51-74

**Analysis of routing protocols of the wireless sensor and actuator network and the method of their selection** / V. Bezruk, V. Vlasova, J. Skorik, Y. Koltun, A. Kostromitsky // *Radioelektronika i informatika*. 2017. N 1. P. 28-32.

Practical features of the application of the hierarchy analysis method for choosing the preferred version of the routing protocol in BACAs are considered. A comparative analysis of the characteristics of existing routing protocols in BASA is carried out. The experts obtained pairwise comparisons of the characteristics of 11 routing protocols. Matrices of paired comparisons are generated for which the components of the eigenvector and the priority vector are calculated. Based on the maximum values of the priority vector components, the preferred routing protocol GAF is chosen for use in field BACAs with localization of elements.

Tab. 3. Ref.: 4 items.

UDC 621.327:681.5

**Method of forming a two component code for a compact representation of the image fragment in telecommunication systems** / A. Doduh, V. Himenko, I. Machalin, D.A. Tarasenko // *Radioelektronika i informatika*. 2017. N 1. P. 33-37.

Development method compression of images is conducted on the basis construction generalized two component code presentation on the base of sharing elements of coordinate structural and scale on the lines presentation fragment of image. It is retined that it provides treatment of integral information about the fragment image, and the generalized forming code combination is carried out on basis two component computer-integrated principles.

Ref.: 11 items.

UDC 621.391

**Nonlinear model of multipath multicast routing in telecommunications network** / A. Mersni, A.Ye. Ilyashenko // *Radioelektronika i informatika*. 2017. N 1. P. 38-42.

In order to ensure the optimal load balancing in telecommunications network, the multicast routing flow-based model has been improved in the direction of implementing the multipath packet transmission strategy. It is suggested to split the original multicast flow into a set of subflows, for each of which an optimal tree is built as a multicast route. The problem of multipath multicast routing is presented in an optimization form, contributing to the most effective load balancing in the network.

Tab. 3. Fig. 3. Ref.: 7 items.



---

УДК 004.772

**Функціональна модель управління в мережах пірінгового зв'язку** / К.О. Поповська, М.В. Москалець // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2017. № 1. С. 48–52. Запропоновано математичну модель управління потоком фрагментів в пірінговій мережі P2P-TV при передачі відеоконтенту з використанням критерію мінімуму сумарної втрати часу на обслуговування N-фрагментів інформаційної послідовності. Отримано рішення, що приводить до процедури динамічного програмування. Розглянуто вплив різних чинників на динаміку відтворення у пірінговій мережі (P2P-TV) при наданні послуги відео за запитом і живого поточного відео.

Іл. 1. Бібліогр.: 7 назв.

UDC 004.772

**Functional model of management in peer-to-peer networks communication** / E.O.Popovskaja, N.V. Moskalets // *Radioelektronika i informatika*. 2017. N 1. P. 48–52.

Mathematical model for control of fragments flow using the criterion of a minimum of the total loss of time for servicing N-fragments of information sequence is proposed. A solution leading to the procedure of dynamic programming is obtained. Influence of various factors influencing dynamics of reproduction in a P2P-TV network at representation of service of video on demand and live stream video is considered.

Fig. 1. Ref.: 7 items.

---

УДК 621.397

**Оцінка швидкодії методів селективної обробки даних в просторово-часовій області** / Д.С. Гаврилов, В.С. Фустій, Б.О. Піддубний, К.А. Дрозд, Д.В. Жуйков // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2017. № 1. С. 53–56.

Проведена оцінка відомих методів селективної обробки даних на основі виділення та шифрування контурної інформації на базі JPEG-платформи за критерієм швидкодії в просторово-часовій області.

Іл. 4. Бібліогр.: 12 назв.

UDC 621.397

**Estimation of fast-acting of methods of the selective processing of data in spatially - temporary realm** / D.S. Havrylov, V.S. Fustii, B.O. Pidubnyi K.A. Drozd, D.V. Zhuykov // *Radioelektronika i informatika*. 2017. N 1. P. 53–56.

The evaluation of known methods of selective processing of data is based on the isolation and encryption of contour information based on the JPEG platform by the criterion of fast-action in the space-time domain.

Fig. 4. Ref.: 12 items.

---

УДК 004.056.5

**Ієрархічний класифікатор автоматизованих систем прикордонного відомства** / О.К. Юдін, М.А. Стрельбицький // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2017. № 1. С. 57–60.

Сформульована та доказана теорема безпеки для взаємодіючих систем. Наслідком теореми є теоретичне обґрунтування безпеки системи в цілому при модернізації її підсистеми. Це дозволить науково обґрунтовано раціоналізувати обсяг робіт із забезпечення нормативного рівня захисту систем вищого рівня при модернізації її складових. Наведена класифікація автоматизованих систем з урахуванням масштабу, ступеня взаємодії та виду інформації, яка обробляється. Використання ієрархічного класифікатора дозволить сформулювати відповідні профілі захищеності складових інформації, яка циркулює в автоматизованій системі.

Табл. 2. Іл. 2. Бібліогр.: 6 назв.

UDC 004.056.5

**Hierarchical classifier automated systems of border guard service** / A.K. Yudin, M.A. Strelbtskiy // *Radioelektronika i informatika*. 2017. N 1. P. 57–60.

Protection of state information resources prognosticates of automated processing systems classification. The current classification does not allow separate automated system by feature interaction. This leads to the fact that modernization one subsystem is regarded as upgrade the system. As a result of research formulated and proved the theorem of safety for interacting systems. The result of theorem is a theoretical substantiation security system as a whole in the modernization of its subsystems. This will streamline scientifically substantiated amount of work to ensure the required level of protection at a super system of modernization of its components. In addition, the classification of the automated systems has scale, level of interaction and the type of information that is being processed. Using hierarchical classifier will establish appropriate security profile items of information that circulates in the automated system.

Tab. 2. Fig. 2. Ref.: 6 items.

---

УДК 621.39

**Проблемні аспекти дистанційного відеосервісу в умовах кризової ситуації** / А.О. Краснорутський // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2017. № 1. С. 61–66. Проведено аналіз проблемних аспектів існуючих методів обробки зображень на борту літального апарату, які відносяться до напрямку пошуку та зберігання семантичної (інформаційної) складової аерофотознімка. Обґрунтовано напрямок розробки наукових основ підвищення оперативності доставки відеоінформації з борту літального апарату із збереженням достовірності інформації.

Іл. 1. Бібліогр.: 6 назв.

UDC 621.39

**Problematic aspects of remote video service in a crisis situation** / A. Krasnorutsky // *Radioelektronika i informatika*. 2017. N 1. P. 61–66.

The analysis of the problematic aspects of the existing methods of image processing aboard the aircraft that relate to the direction of the search and preservation of semantic (information) component of the aerial photograph. Justified direction in the development of scientific bases of increase of efficiency of the delivery video data with the aircraft maintaining the accuracy of the information.

Fig. 1. Ref.: 6 items.

---

УДК 623.618

**Інфокомунікаційна система медичного забезпечення та екстреної евакуації поранених** / С.П. Колачов, П.М. Гуржій, М.М. Масесов, І.А. Гуржій // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2017. № 1. С. 43–47. Розглянуто інфокомунікаційну систему медичного забезпечення та екстреної евакуації поранених, яка призначена для підвищення оперативності управління силами та засобами медичної служби, приведення їх у готовність до виконання завдань за призначенням, зменшення загального часу на евакуацію поранених, а також забезпечення своєчасного і повного надання необхідної медичної допомоги та лікування поранених.

Лл. 3. Бібліогр.: 2 назв.

---

УДК 004.772

**Функціональна модель управління в мережах пірінгового зв'язку** / К.О. Поповська, М.В. Москалець // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2017. № 1. С. 48–52. Запропоновано математичну модель управління потоком фрагментів в пірінговій мережі P2P-TV при передачі відеоконтенту з використанням критерію мінімуму сумарної втрати часу на обслуговування N-фрагментів інформаційної послідовності. Отримано рішення, що приводить до процедури динамічного програмування. Розглянуто вплив різних чинників на динаміку відтворення у пірінговій мережі (P2P-TV) при наданні послуги відео за запитом і живого поточного відео.

Лл. 1. Бібліогр.: 7 назв.

---

UDC 623.618

**Infocommunication system of medical provision and emergency evacuation of the wounded** / S.P. Kolachev, P.M. Gurzhiy, M.M. Masesov, I.A. Gurzhiy // *Radioelektronika i informatika*. 2017. N 1. P. 43-47.

Considered information and communication system of medical and emergency evacuation of the wounded, which is designed to improve efficiency of management of forces and means of medical service, bringing them in readiness to perform assigned tasks, reducing the overall time to evacuate the wounded and to ensure the timely and full provision of necessary medical assistance and treating the wounded.

Fig. 3. Ref.: 2 items.

---

UDC 004.772

**Functional model of management in peer-to-peer networks communication** / E.O. Popovskaja, N.V. Moskalets // *Radioelektronika i informatika*. 2017. N 1. P. 48-52.

Mathematical model for control of fragments flow using the criterion of a minimum of the total loss of time for servicing N-fragments of information sequence is proposed. A solution leading to the procedure of dynamic programming is obtained. Influence of various factors influencing dynamics of reproduction in a P2P-TV network at representation of service of video on demand and live stream video is considered.

Fig. 1. Ref.: 7 items.

## ПРАВИЛА

оформления рукописей для авторов научно-технического журнала

"Радиоэлектроника и информатика"

**Тематика:** радиотехника; электроника; телекоммуникации; компьютерные науки; компьютерная инженерия и техническая диагностика; системы и процессы управления; информационные технологии в науке, образовании, культуре, медицине, экономике, экологии, социологии.

**Формат страницы** — А4 (210x297 мм), все поля — 20 мм. Количество колонок — 2, интервал между ними — 5 мм. Редактор Page Maker 6.0 или Word, гарнитура Times ET, (Times New Roman Cyr), кегль — 10 пунктов, межстрочное расстояние — 110%, табуляция — 5 мм. Объем рукописи — от 2 до 7 с. (языки: русский, украинский, английский).

Согласно решению редакционной коллегии, основанному на Постановлении ВАК Украины от 15.01.2003 №7-05/1 (Бюллетень ВАК Украины, №1, 2003, с.2), текст рукописи должен быть структурирован и содержать все *основные части, характерные для научной статьи*: **введение** (отражает *актуальность*, формулирование *цели и задач* исследования); **сущность** (изложение основного материала исследования с описанием идеи, метода, и обоснованием полученных научных результатов); **выводы** (отражают результаты исследования, их *научную новизну* и *практическую значимость*, сравнение с лучшими аналогами, перспективы).

**Оформление рукописи:** УДК, заголовок, фамилия и инициалы, аннотация, текст, литература, реферат (на украинском и английском языках), сведения об авторах.

### ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ

УДК 519.713

### НАЗВАНИЕ РУКОПИСИ

*ФАМИЛИЯ И.О.*

(Название желаемого раздела тематики)

**Аннотация** (на языке статьи, абзац 5-10 строк, кегль 9) помещается в начале статьи и содержит информацию о результатах описанных исследований.

**Ключевые слова (Key words)** приводятся (на языке статьи и на английском языке).

Основной текст следует разделять на **подразделы с заголовками**, выделенными полужирным шрифтом, пронумерованными арабскими цифрами, как показано в следующей строке.

#### 1. Название раздела

**Рисунки и таблицы** (черно-белые, контрастные) помещаются в текст после первой ссылки в виде *переносимых объектов* и отдельно нумеруются, при наличии более одного рисунка (таблицы), арабскими цифрами. Рисунок содержит подрисуночную центрированную подпись под иллюстрацией (вне рисунка), как показано на рис. 1.

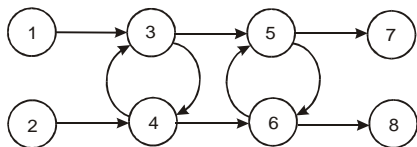


Рис. 1. Граф с контурами

Табличный заголовок располагается справа над таблицей (вне таблицы), что иллюстрируется табл.1. Редакторы: CorelDraw, Table Editor, Microsoft Excel.

Таблица 1

Шаг i	1	2	3	4	5	6
Ф1(1,3)	1	2	2	4	6	1

**Формулы** нумеруются при наличии ссылок на них в рукописи. Формулы, символы, переменные, встречающиеся в тексте, должны быть набраны как объекты Microsoft Equation. Рекомендуемая высота формульных кеглей: переменная — 10 пунктов, индекс — 8, над- и подиндекс — 8, основной (индексный) математический символ — 12(10):

$$F_{i+j} = \sum_{i=1}^{b^k} F_j^i - \prod_{j=1}^{1+h^2} P_{R_{j+i}} + F^{j-1} + X^{\sum n^k} \quad (1)$$

Формат переменных (желательно не курсивом — без наклона) в тексте и формулах должен быть идентичным. В тексте над- и подиндексы составляют 70 % от высоты кегля, которые рекомендуется опускать (поднимать) на 17 (33) % относительно основной строки.

**Литература** (включает опубликованные источники, на которые имеются ссылки в тексте, заключенные в квадратные скобки) печатается без отступа, кегль 9 пунктов.

**Транслитерированный список литературы**, в соответствии с требованиями наукометрических баз, является полным аналогом списка литературы и выполняется на основе транслитерации языка оригинала латиницей.

При этом число и порядок источников в списке литературы должны оставаться неизменными. Ссылки на англоязычные источники не транслитерируются. Транслитерация украинского языка латиницей выполняется на основе Постановления Кабинета Министров Украины № 55 от 27 января 2010

(<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/55-2010-%D0%BF>), русского — на основе ГОСТ 7.79-2000 (ISO 9-95) (<http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=130715>).

Рекомендуется использовать автоматические средства транслитерации (<http://translit.net>).

Образец окончания текста рукописи (литература, сведения об авторах, реферат) представлен ниже.

**Литература:** 1. *Фамилия И.О.* Название книги. Город: Издательство, 1900. 000 с. 2. *Название сборника / Под ред. И.О. Фамилия.* Город: Издательство, 1900. 000 с. 3. *Фамилия И.О.* Название статьи // Название журнала. Название серии. 1997. Т. 00, № 00. С. 00-00.

#### Транслитерированный список литературы.

Поступила в редколлегия 00.00.00

**Рецензент:** должность, ученая степень, фамилия, И.О.

**Фамилия, имя, отчество**, ученая степень, звание, должность и место работы. Научные интересы. Увлечения и хобби. Адрес, контактные телефоны.

#### Сведения об авторах на английском языке.

Рефераты на украинском, русском и английском языках.

УДК 000.000.00

**Назва статті** / Ініціали. Прізвище. // Радіоелектроніка та інформатика. 2000. № 00. С. 00–00.

Текст реферату.

Табл. 00. Іл. 00. Бібліогр.: 00 назв.

УДК 000.000.00

**Название статьи** / Инициалы. Фамилия. // Радиоэлектроника и информатика. 2000. № 00. С. 00–00.

Текст реферата.

UDC 000.000.00

**Title of paper** / Initials. Surname // Radioelektronika i informatika. 2000. N 00. P. 000-000.

Text.

Tab. 00. Fig. 00. Ref.: 00 items.

#### Представление материалов

Рукопись, рефераты, сведения об авторах – в одном файле, *поименованном фамилией автора*. Твердая копия материалов – для граждан Украины — в одном экземпляре: рукопись, подписанная авторами, рефераты, внешняя рецензия, подписанная доктором наук, заявление на имя главного редактора со сведениями об авторах.

Материалы, не соответствующие требованиям, редколлегией не рассматриваются.

Адрес редакции: Украина, 61166, Харьков, просп. Ленина, 14, ХНУРЭ, комната 321, тел. 70-21-326.

E-mail: [hahanov@icloud.com](mailto:hahanov@icloud.com)

Рекомендовано Научно-техническим советом Харьковского национального университета радиоелектроники (протокол № 3 от 19.05.2017)

Підписано до друку 27.05.2017. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.

Умов. друк. арк. 10,8. Зам. № б/н . Тираж 300 прим. Ціна договірна.

Віддруковано у СПД ФО Степанов В.В.

61168, Харків, вул. Акад. Павлова, 311.



# 15<sup>th</sup> IEEE EAST-WEST DESIGN & TEST SYMPOSIUM (EWDTs 2017)

Novi Sad, Serbia, Sept 29 - Oct 2, 2017



## Call for Papers

The main target of the IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTs) is to exchange experiences between scientists and technologies from Eastern and Western Europe, as well as North America and other parts of the world, in the field of design, design automation and test of electronic circuits and systems. The symposium is typically held in countries around East Europe, the Black Sea, the Balkans and Central Asia region. We cordially invite you to participate and submit your contributions to EWDTs'17 which covers (but is not limited to) the following topics:

- Analog, Mixed-Signal and RF Test
- ATPG and High-Level Test
- Automotive Reliability & Test
- Built-In Self Test
- Debug and Diagnosis
- Defect/Fault Tolerance and Reliability
- Design Verification and Validation
- EDA Tools for Design and Test
- Embedded Software
- Failure Analysis & Fault Modeling
- Functional Safety
- High-level Synthesis
- High-Performance Networks and Systems on a Chip
- Internet of Things Design & Test
- Low-power Design
- Memory and Processor Test
- Modeling & Fault Simulation
- Network-on-Chip Design & Test
- Flexible and Printed Electronics
- Applied Electronics – Automotive/Mechatronics
- Algorithms
- Object-Oriented System Specification and Design
- On-Line Testing
- Power Issues in Design & Test
- Real Time Embedded Systems
- Reliability of Digital Systems
- Scan-Based Techniques
- Self-Repair and Reconfigurable Architectures
- Signal and Information Processing in Radio and Communication Engineering
- System Level Modeling, Simulation & Test Generation
- System-in-Package and 3D Design & Test
- Using UML for Embedded System Specification
- CAD and EDA Tools, Methods and Algorithms
- Hardware Security and Design for Security
- Logic, Schematic and System Synthesis
- Place and Route
- Thermal and Electrostatic Analysis of SoCs
- Wireless and RFID Systems Synthesis
- Sensors and Transducers
- Medical Electronics
- Design of Integrated Passive Components

The Symposium will take place in Novi Sad – the second largest city of Serbia and one of the most beautiful cities in South-East Europe, overlooking the Danube River. Novi Sad is the city of the famous EXIT music festival. It has been declared as one of the three European Capitals of Culture for 2021, as well as, the European Youth Capital for 2019.

### Symposium Deadlines:

**Submission deadline:** June 15, 2017

**Notification of acceptance:** July 30, 2017

**Papers submission info:** <http://www.ewdtest.com/conf>

### Organizing committee contacts:

Prof. Mirjana Damnjanovic, Faculty of Technical Sciences, Univ. of Novi Sad, [mirad@uns.ac.rs](mailto:mirad@uns.ac.rs)

Prof. Vladimir Hahanov, Design Automation Department, Kharkov National Univ of Radioelectronics, Lenin Ave, 14, Kharkov, 61166, Ukraine. Tel: +380-57-702-13-26, [hahanov@icloud.com](mailto:hahanov@icloud.com), [www.ewdtest.com/conf/](http://www.ewdtest.com/conf/)

The symposium is organized by the Kharkov National University of Radio Electronics, Ukraine, and the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Serbia

Conference content will be submitted for inclusion into IEEE Xplore as well as other Abstracting and Indexing (A&I) databases. IEEE reserves the right to exclude a paper from distribution after the conference, including IEEE Xplore® Digital Library, if the paper is not presented by the author at the conference.



### General Chairs

V. Hahanov – Ukraine  
Y. Zorian – USA

### General Vice-Chairs

G. Stojanovic - Serbia  
R. Ubar – Estonia  
P. Prinetto – Italy

### Program Chair

Z. Stamenkovic, Germany  
S. Shoukourian – Armenia  
A. Ivanov – Canada

### Program Vice-Chairs

Z. Navabi – Iran  
M. Renovell – France

### Finance Chairs

Lj. Geric – Serbia  
E. Litvinova – Ukraine

### Publicity Chairs

S. Mosin – Russia  
G. Markosyan – Armenia

### Public Relation Chair

V. Djigan – Russia

### Program Committee

J. Abraham – USA  
M. Adamski – Poland  
A. S. Mohamed – Egypt  
A. Barkalov – Poland  
R. Bazylevych – Ukraine  
A. Chaterjee – USA  
A. Drozd – Ukraine  
D. Efanov – Russia  
E. Evdokimov – Ukraine  
E. Gramatova – Slovakia  
G. Harutyunyan - Armenia  
M. Karavay – Russia  
V. Kharchenko – Ukraine  
M. Khalvashi – Georgia  
K. Kuchukjan – Armenia  
V. Kureichik – Russia  
W. Kuzmicz – Poland  
A. Matrosova – Russia  
V. Melikyan – Armenia  
S. Mosin – Russia  
O. Novak – Czech Republic  
A. Orailoglu - USA  
Z. Peng – Sweden  
A. Petrenko – Ukraine  
N. Prokopenko – Russia  
D. Puzankov - Russia  
J. Raik – Estonia  
A. Romankevich – Ukraine  
R. Seinauskas – Lithuania  
S. Sharshunov – Russia  
A. Singh – USA  
J. Skobtsov – Ukraine  
V. Tverdokhlebov – Russia  
V. Vardanian – Armenia  
V. Yarmolik – Byelorussia  
Lj. Zivanov – Serbia  
R. Struharik – Serbia  
L. Nagy – Serbia  
V. Rajs – Serbia  
P. Petkovic – Serbia  
D. Tosic – Serbia  
S. Randjic – Serbia

### Steering Committee

V. Hahanov – Ukraine  
R. Ubar – Estonia  
Y. Zorian – USA

### Organizing Committee

M. Damnjanovic – Serbia  
S. Chumachenko – Ukraine  
E. Litvinova – Ukraine  
A. Mishchenko – Ukraine



**International Editorial Board:**

Y. Zorian – USA  
M. Karavay – Russia  
R. Ubar – Estonia  
S. Shoukourian – Armenia  
D. Speranskiy – Russia  
M. Renovell – France  
R. Seinauskas – Lithuania  
Z. Navabi – Iran  
J. Abraham – USA  
A. Ivanov – Canada  
V. Kharchenko – Ukraine  
O. Novak - Czech Republic  
Z. Peng - Sweden  
B. Bennetts - UK  
P. Prinetto - Italy  
V. Tarassenko - Ukraine  
V. Yarmolik - Byelorussia  
W. Kusmicz - Poland  
E. Gramatova - Slovakia  
H-J. Wunderlich – Germany  
S. Demidenko – New Zealand  
F. Vargas – Brazil  
J-L. Huertas Diaz – Spain  
M. Hristov – Bulgaria  
W. Grabinsky – Switzerland  
A. Barkalov – Poland, Ukraine

**Local Editorial Board:**

Bykh A. – Ukraine  
Volotshuk Yu. – Ukraine  
Gorbenko I. – Ukraine  
Gordienko Yu. – Ukraine  
Zaiats V. – Ukraine  
Krivoulya G. – Ukraine  
Litvinova E. – Ukraine  
Lobur M. – Ukraine  
Nerukh A. – Ukraine  
Rutkas A.G. – Ukraine  
Svir I. – Ukraine  
Semenets V. – Ukraine  
Slipchenko N. – Ukraine  
Tarasenko V. – Ukraine  
Terzijan V. – Ukraine  
Chumachenko S. – Ukraine  
Titarenko L. – Ukraine  
Hahanov V. – Ukraine  
Yakovenko V. – Ukraine  
Yakovlev S. – Ukraine

**Address of journal edition:** Ukraine, 61166, Kharkiv, Lenin avenu, 14, KNURE, Design Automation Department, room 321, ph. (0572) 70-21-326, d-r Hahanov V.I.

**E-mail:** [hahanov@icloud.com](mailto:hahanov@icloud.com),

<http://www.ewdtest.com/ri/>