

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 621.397.424:004.056.55

**ВОЛКОВ**  
Кирилл Аркадьевич

**КОДИРОВАНИЕ ПАНОРАМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В МОБИЛЬНЫХ  
СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ОПЕРАТОРОМ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.12.13 – Системы, сети  
и устройства телекоммуникаций

Минск 2013

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

**Научный руководитель**      **Конопелько Валерий Константинович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сетей и устройств телекоммуникаций учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

**Официальные оппоненты:**      **Кучинский Петр Васильевич**, доктор физико-математических наук, директор научно-исследовательского учреждения «Институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко» Белорусского государственного университета.

**Ткаченко Вадим Викторович**, кандидат технических наук, заведующий лабораторией компьютерной графики «Объединенного института проблем информатики Национальной академии наук Беларуси».

**Оппонирующая организация**      **ОАО «АГАТ – системы управления»** – управляющая компания холдинга «Геоинформационные системы».

Защита состоится «21» ноября 2013 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.02 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, e-mail: dissovet@bsuir.by, тел. 293-89-89.

## **КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

В последние годы в мобильных системах видеонаблюдения применяются панорамные видеокамеры, имеющие круговую диаграмму обзора по углу местности. Данный класс устройств является эволюцией двух технических решений – систем на основе поворотных камер и систем неподвижных камер с перекрывающимися секторами обзора. Отличительной особенностью панорамных видеокамер является большое разрешение формируемого ими изображения, которое обуславливает две проблемы их практического использования: значительный объем данных для передачи оператору и сложность представления информации из-за ограниченных способностей человека по ее восприятию.

Существующие методы сжатия видеоданных, основанные на устранении пространственной (MJPEG, MJPEG 2000), временной (CinePack) или обоих видов избыточности (MPEG-1,2,4, H.264), не эффективны для панорамных изображений из-за большого объема передаваемой информации, требуют значительных вычислительных затрат и не обеспечивают требуемого коэффициента сжатия для передачи по каналам связи с ограниченной полосой пропускания. Дополнительного существенного сжатия видеоданных можно достичь за счет передачи информации в пределах сектора наблюдения оператора мобильной системы. В работе исследуются методы и средства кодирования панорамных видеоданных в мобильных системах с использованием управляющей связи от оператора.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с крупными научными программами, темами**

Исследования проводились в рамках выполняемой на кафедре сетей и устройств телекоммуникаций учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» научно-исследовательской госбюджетной темы ГБ 06-2033 «Разработка методов обработки, передачи и распределения мультимедийной информации» (этап «Разработать и исследовать высокоскоростные методы передачи мультимедийной информации по различным каналам связи»), а также договора о научно-техническом сотрудничестве № 2008/03-039 от 26 июня 2008 г. между учреждением образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» и РУП «Конструкторское бюро «Дисплей».

### **Цель и задачи исследования**

Цель диссертационной работы состоит в разработке методов и средств пиктографического и секторного кодирования панорамных изображений в мобильных системах с оператором.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать методы сшивки панорамных изображений для подвижной сканирующей видеокамеры, выделения и пиктографического кодирования подвижных объектов на панорамном изображении;
- разработать методы секторного кодирования панорамного изображения с управляющей связью от оператора и определения угловых координат сектора наблюдения оператора;
- разработать структуру и аппаратно-программные средства пиктографического и секторного кодирования панорамных изображений в мобильных системах видеонаблюдения с оператором.

Объектами исследования диссертационной работы являются методы и средства кодирования панорамных изображений в мобильных системах. Выбор данных объектов исследования обусловлен актуальностью проблемы повышения пропускной способности мобильных систем телекоммуникаций, эффективным подходом к решению которой является сокращение объема передаваемой информации за счет сжатия видеоданных. Предметом исследования являются методы и средства сшивки, пиктографического и секторного кодирования панорамных изображений, учитывающие особенности восприятия информации оператором.

#### **Положения, выносимые на защиту**

1. Матричный метод сшивки панорамных изображений, обеспечивающий сокращение времени совмещения изображений в три и более раза по сравнению с иерархическим и масочным методами.

2. Метод контурного выделения и пиктографического кодирования подвижных объектов на панорамных изображениях, позволяющий уменьшить в два раза число пропущенных объектов, в три раза – количество ложных объектов, в два и более раза – среднеквадратичную погрешность определения центров объектов при сопоставимом быстродействии с методами группирования по ячейкам регулярной структуры и сегментации с формированием ограничивающих прямоугольников.

3. Маркерный метод определения угловых координат сектора наблюдения оператора, позволяющий в режиме реального времени определять угловую ориентацию сектора наблюдения в одной или двух плоскостях.

#### **Личный вклад соискателя**

Содержание диссертации отражает личный вклад автора. Он заключается в научном обосновании методов кодирования панорамных видеоданных с учетом восприятия информации оператором, постановке и проведении экспериментов по исследованию характеристик, оценке эффективности разработанных методов, обработке и анализе полученных результатов, формулировке выводов. Определение целей и задач исследований, интерпретация и обобщение полученных результатов проводились совместно с научным руководителем, д-м техн. наук, проф. В.К. Копелько.

## **Апробация результатов диссертации**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: VIII Белорусско-российская научно-техническая конференция «Технические средства защиты информации» (Браслав, Беларусь, 2010); Международный научно-технический семинар «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных» (Браслав, Беларусь, 2010); Second Scientific conference for information technology «Applications and Horizons» (Baghdad, Iraq, 2010); 46-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» «Телекоммуникационные системы и сети» (Минск, Беларусь, 2010); Second Scientific Conference (Baghdad, Iraq, 2011); 5-я международная научная конференция по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения MILEX-2011 (Минск, Беларусь, 2011); Международный научно-технический семинар «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных» (Минск, Беларусь, 2011; 2012).

## **Опубликованность результатов диссертации**

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 13 печатных работ, в том числе 5 статей в научных журналах общим объемом 2,1 авторских листа, 8 статей и тезисов в сборниках и материалах конференций.

## **Структура и объем диссертации**

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и семи приложений. В первой главе рассмотрены особенности панорамных систем видеонаблюдения, представлен обзор методов кодирования панорамных видеоданных, выделения подвижных объектов на видеоданных и определения сектора наблюдения оператора. Во второй главе предложены методы и алгоритмы кодирования панорамных видеоданных и подвижных объектов на панорамных изображениях; рассмотрены вопросы определения пространственных координат объектов с использованием стереоскопического панорамного дальномера. В третьей главе предложен метод определения сектора обзора оператора, рассмотрены вопросы разработки систем видеонаблюдения с нашлемной системой индикации. В четвертой главе рассмотрены вопросы построения, принципы работы и функционирования кодека панорамных изображений для сетей с оператором, произведена оценка характеристик кодека и приведены рекомендации по выбору параметров его основных узлов.

Общий объем диссертационной работы составляет 139 страниц, из них 83 страницы основного текста, 43 рисунка на 22 страницах, 13 таблиц на 5 страницах, 8 приложений на 19 страницах, библиография из 137 источников на 10 страницах, включая 13 собственных публикаций автора.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении определены основные направления исследований, обоснована актуальность темы диссертации, показана необходимость разработки и исследования методов и средств кодирования панорамных изображений в телекоммуникационных системах с оператором.

В первой главе проведен анализ особенностей построения мобильных систем панорамного видеонаблюдения, рассмотрены методы кодирования панорамных изображений и используемые в них методы формирования панорамных изображений, обнаружения движущихся объектов и определения сектора наблюдения оператора. Установлено, что существующие кодеки не эффективны для задач передачи панорамных изображений, размер которых значительно превосходит размер кадра обычной видеокамеры. Данную проблему предлагается решать путем включения в видеокодек управляющей связи от оператора к видеокодеру для использования информации о секторе наблюдения оператора (СНО) (рисунок 1).

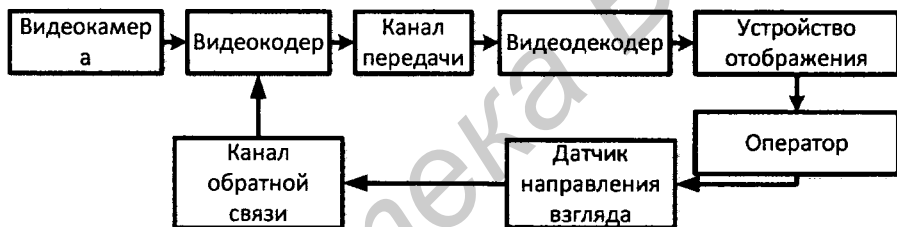


Рисунок 1 – Структурная схема системы видеокodирования с управляющей связью от оператора

Наличие этих данных позволяет исключить при передаче фрагменты панорамных изображений, которые не воспринимаются оператором, поскольку расположены вне поля его зрения. К таким фрагментам можно отнести зоны перекрытия соседних камер фасеточной сборки (ФСВК) и кадров для соседних позиций подвижной сканирующей видеокамеры (ПСВК), области фона панорамного изображения вне поля зрения оператора, изображения (проекции) движущихся объектов, элементы пространственной и временной избыточности видеоданных. При таком подходе информация о подвижных объектах, являющихся важными для задачи видеонаблюдения, не теряется, а сжимается до пиктографического представления и интегрируется с передаваемым изображением [1–А, 4–А, 5–А]. Показано, что для реализации данного решения необходимо исследование методов формирования панорамных изображений, выделения движущихся объектов и определения СНО.

Установлено, что для панорамного видеонаблюдения наиболее перспективными являются ФСВК и ПСВК при использовании их в ближней и дальней зоне видеонаблюдения соответственно. Показана необходимость разработки методов формирования панорамного изображения с использованием ПСВК, обеспечивающих совмещение изображений для последовательных соседних позиций камеры, поскольку механизмы привода и датчики угла поворота ПСВК имеют значительную погрешность. Отмечается, что наиболее перспективными по критерию быстродействия и точности совмещения являются блочные методы [10–А, 12–А].

Проведен анализ известных методов обнаружения движущихся объектов при панорамном обзоре. Установлено, что непосредственное выделение контура движущегося объекта с использованием только информации об областях движения в общем случае невозможно, поэтому необходима разработка методов выделения ограничивающих прямоугольников движущихся объектов, обладающих высоким быстродействием, нечувствительностью к разрывам в областях движения, возможностью непосредственного позиционирования движущихся объектов [3–А].

Для решения задачи определения СНО могут использоваться два подхода, получивших в настоящее время широкое распространение: на основе определения положения глаз и на основе ориентации головы. Установлено, что для определения СНО при работе с круговой панорамой целесообразно использовать оптический принцип определения положения его головы, поскольку он обеспечивает комфортную точность детектирования угла перемещения, не требует модификации шлема, пригоден для работы оператора в условиях стесненного рабочего пространства с множеством металлических поверхностей и наличием вибраций [9–А]. Существующие решения в области определения СНО носят закрытый характер, имеют высокую стоимость из-за специфических условий эксплуатации, не могут быть легко модифицированы для различных вариантов рабочего места оператора. Отмечается необходимость разработки методов определения угловой ориентации головы оператора (УОГО) с использованием оптических сенсоров и вычислительного оборудования для формирования данных для управляющей связи от оператора к кодеру [4–А, 5–А, 13–А].

Во второй главе рассматриваются матричный метод сшивки панорамных изображений и метод контурного выделения и пиктографического кодирования подвижных объектов [6–А, 11–А, 12–А].

Для осуществления пиктографического кодирования (рисунок 2) необходимо производить формирование панорамных изображений с использованием ПСВК и выделять на них подвижные объекты.

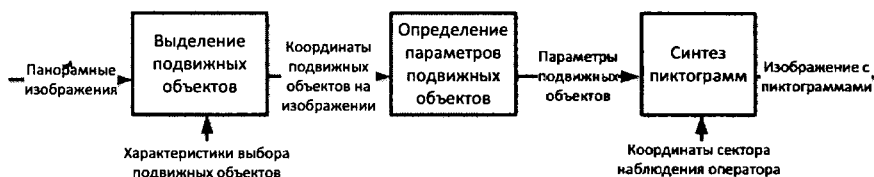


Рисунок 2 – Пиктографическое кодирование подвижных объектов

Для сшивки панорамного изображения из последовательности смещенных кадров ПСВК необходимо определить их взаимное расположение. Установлено, что для нахождения взаимного смещения данных изображений эффективно использование блочных алгоритмов, поскольку присутствует сдвиг по вертикали и горизонтали из-за погрешностей в механизме позиционирования.

Предложены матричный метод и алгоритм сшивки изображений, сущность которого состоит в выборе и оценке подобия блоков пары изображений и последующем нахождении взаимного смещения блоков [10–А, 12–А]. Для выбора и оценки сходства блоков используются интегральные матрицы яркости и контрастности, определяемые выражениями

$$IC_{x,y} = \sum_{x=0}^{w-1} \sum_{y=0}^{h-1} c_{x,y},$$

$$II_{x,y} = \sum_{i=0}^{w-1} \sum_{j=0}^{h-1} I_{x,y},$$

где  $I_{x,y}$  и  $c_{x,y}$  – яркость и контрастность пикселя изображения с координатами  $(x, y)$  соответственно,

$w, h$  – ширина и высота изображения соответственно.

Выбор блоков-кандидатов производится по критерию максимума внутренней контрастности, вычисляемой по формуле

$$C_{p,q}^b = \sum_{i=p}^{p+b-1} \sum_{j=q}^{q+b-1} c_{i,j} = IC_{i,j} + IC_{i+b,j+b} - IC_{i+b,j} - IC_{i,j+b},$$

где  $(p, q)$  – координаты левого верхнего угла;

$b$  – размер блока.

Оценка схожести блоков на паре изображений производится по формуле [12–А]

$$SAD(x, y, i, j) = \sum_{p=x}^{x+b-1} \sum_{q=y}^{y+b-1} |I_{p,q}^A - I_{p+i,q+j}^B|,$$

где  $I_{x,y}^A$  и  $I_{x,y}^B$  – матрицы яркости изображений  $A$  и  $B$  соответственно;

$(x, y)$ ,  $(i, j)$  – координаты левого верхнего угла блока на изображении  $A$  и  $B$  соответственно.



В таблице 1 представлены результаты проведенного эксперимента по сравнению известных алгоритмов сшивки изображений с алгоритмом матричного метода поиска соответствий блоков (рисунок 3) [10–А, 12–А].

Таблица 1 – Зависимость времени совмещения пары изображений от применяемого алгоритма

Алгоритм совмещения на основе:	Время совмещения пары изображений (среднее), мс
– нахождения оптического потока алгоритмом Лукаса–Канаде	219 785
– поиска соответствий ключевых точек алгоритмом SURF	18 321
– поиска соответствий ключевых точек алгоритмом SIFT	517
– нахождения соответствий ключевых точек масочным алгоритмом	93
– иерархического поиска соответствий блоков	48
– матричного поиска соответствий блоков	13

Показано, что матричный метод обеспечивает сокращение времени совмещения изображений в три и более раза по сравнению с иерархическим и масочным методами поиска ключевых точек.

Предложены метод и алгоритм контурного выделения и пиктографического кодирования подвижных объектов, сущность которого состоит в нахождении по интегральной матрице бинарных флагов различий ограничивающих прямоугольников для контуров движущихся объектов, имеющих несвязанные области движения, и представление их в виде пиктограмм (рисунок 4).

Интегральная матрица бинарных флагов различий определяется выражением [3–А]

$$MC_{x,y} = \sum_{x=0}^{w-1} \sum_{y=0}^{h-1} M_{x,y},$$

где бинарный флаг различия пикселей находится по формуле

$$M_{i,j} = \begin{cases} 1, & \|C_{i,j}^A\|_1 - \|C_{i,j}^B\|_1 \geq C_{th}, \\ 0, & \|C_{i,j}^A\|_1 - \|C_{i,j}^B\|_1 < C_{th}, \end{cases}$$

где  $C_{th}$  – пороговое значение различия цвета пикселей;

$C_{i,j}^A$  и  $C_{i,j}^B$  – значения цвета пикселей изображений  $A$  и  $B$  соответственно.

Показано, что предлагаемый метод контурного выделения и пиктографического кодирования позволяет достаточно точно определять истинные границы движущихся объектов (проекция подвижного объекта занимает более 80 % площади выделенной области движения); в два раза уменьшить число пропущенных объектов; в три раза – количество ложных фрагментов; в два и более раза – сред-

неквадратичную погрешность определения центров ограничивающих прямоугольников при сопоставимом быстродействии с методами группирования по ячейкам регулярной структуры и сегментации с формированием ограничивающих прямоугольников [3–А]. Это дает возможность обрабатывать панорамные изображения в режиме реального времени [13–А].

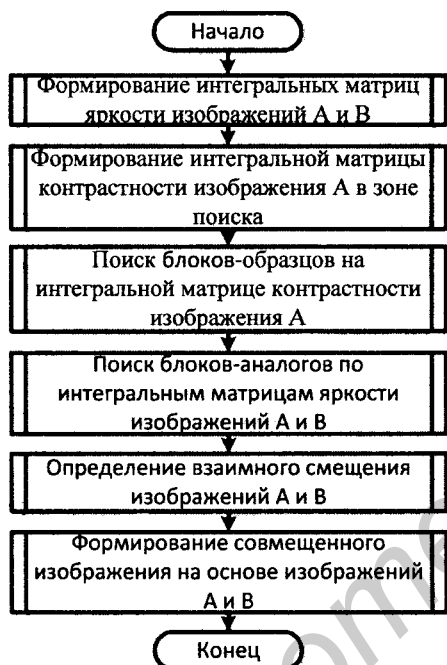


Рисунок 3 – Матричный алгоритм быстрой сшивки панорамных изображений

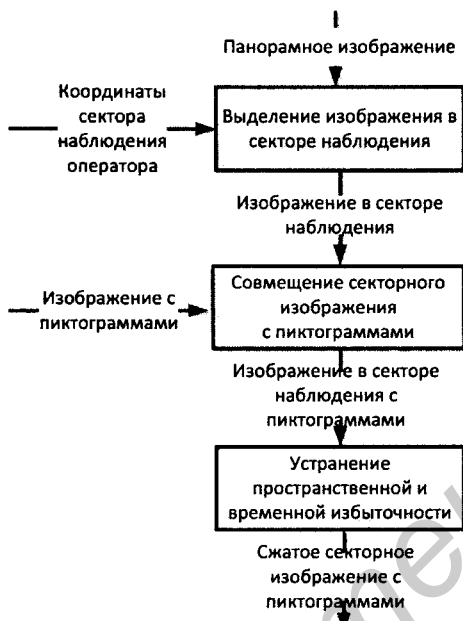


Рисунок 4 – Алгоритм контурного выделения и пиктографического кодирования подвижных объектов

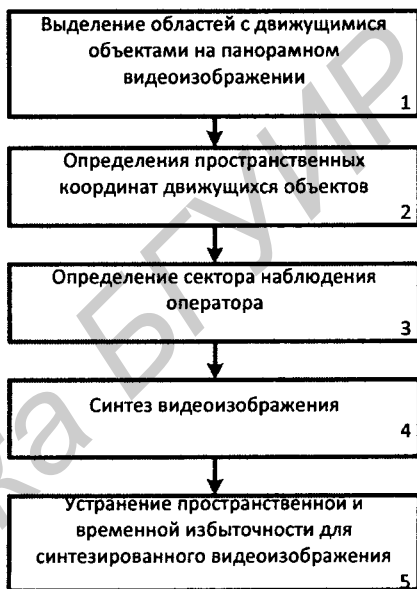
Отмечается, что найденные координаты подвижных объектов могут быть преобразованы в пространственные координаты с привязкой к цифровой карте местности. Предлагается стереограмметрический метод определения расстояний, использующий панорамные изображения с разнесенной по вертикали паре ФСВК. Показывается эффективность его использования на ближней дистанции 100–150 м, а для панорамных сборок видеокамер с несимметричным полем обзора – на дистанции до 300–500 м.

В третьей главе предложены маркерный метод определения сектора наблюдения и метод секторного кодирования панорамных изображений с управляющей связью от оператора [2–А, 4–А, 5–А, 9–А, 8–А].

Метод секторного кодирования панорамных изображений позволяет сжимать видеоданные за счет устранения информации, которая не воспринимается оператором, и компактного пиктографического представления данных о подвижных объектах, находящихся вне поля зрения оператора (рисунки 5, 6) [4–А, 13–А].



**Рисунок 5 – Секторное кодирование подвижных объектов**



**Рисунок 6 – Метод секторного кодирования панорамного изображения**

При реализации метода секторного кодирования панорамных изображений могут использоваться методы и алгоритмы, рассмотренные выше, а именно: сшивка панорамного изображения, выделение подвижных объектов, определение пространственных координат подвижных объектов. Установлено, что предложенный метод позволяет увеличить коэффициент сжатия видеоданных в шесть и более раз по сравнению с методами, не учитывающими особенности функционирования оператора, т. к. размер сектор наблюдения не превышает  $60^\circ$ , а круговое панорамное изображение фасеточной сборки видеокамер формируется из шести кадров [5–А, 13–А].

Для кодирования фрагмента изображения нужно определить сектор наблюдения оператора. Для нахождения УОГО предлагается маркерный метод вычисления угловых координат, использующий группу маркеров, закрепленных на шлеме оператора. Положение маркеров в пространстве фиксируется при помощи

следящей видеокамеры или пары камер; по перемещению маркеров может быть найдено изменение УОГО и соответственно изменение сектора его наблюдения [9-А].

Экспериментально установлено, что наиболее стабильные результаты определения УОГО при помощи одной камеры могут быть получены с использованием системы из четырех маркеров. Для этого требуется осуществлять минимизацию функции [9-А]

$$\begin{aligned}
 F(z_A, z_B, z_C, z_D) = & \\
 & \left| AB^2 - \left( \left( \frac{x'_A z_A}{f} - \frac{x'_B z_B}{f} \right)^2 + \left( \frac{y'_A z_A}{f} - \frac{y'_B z_B}{f} \right)^2 + (z_A - z_B)^2 \right) \right| + \\
 & \left| AC^2 - \left( \left( \frac{x'_A z_A}{f} - \frac{x'_C z_C}{f} \right)^2 + \left( \frac{y'_A z_A}{f} - \frac{y'_C z_C}{f} \right)^2 + (z_A - z_C)^2 \right) \right| + \\
 & \left| AD^2 - \left( \left( \frac{x'_A z_A}{f} - \frac{x'_D z_D}{f} \right)^2 + \left( \frac{y'_A z_A}{f} - \frac{y'_D z_D}{f} \right)^2 + (z_A - z_D)^2 \right) \right| + \\
 & \left| BC^2 - \left( \left( \frac{x'_B z_B}{f} - \frac{x'_C z_C}{f} \right)^2 + \left( \frac{y'_B z_B}{f} - \frac{y'_C z_C}{f} \right)^2 + (z_B - z_C)^2 \right) \right| + \\
 & \left| BD^2 - \left( \left( \frac{x'_B z_B}{f} - \frac{x'_D z_D}{f} \right)^2 + \left( \frac{y'_B z_B}{f} - \frac{y'_D z_D}{f} \right)^2 + (z_B - z_D)^2 \right) \right| + \\
 & \left| CD^2 - \left( \left( \frac{x'_C z_C}{f} - \frac{x'_D z_D}{f} \right)^2 + \left( \frac{y'_C z_C}{f} - \frac{y'_D z_D}{f} \right)^2 + (z_C - z_D)^2 \right) \right| ,
 \end{aligned}$$

где  $AB, AC, AD, BC, BD, CD$  – физическое расстояние между центрами маркеров;

$(x', y')$  – координаты проекции соответствующего маркера относительно центра видеоматрицы;

$z$  – расстояние от видеокамеры до центра соответствующего маркера;

$f$  – фокусное расстояние.

При использовании пары сонаправленных камер координаты маркеров могут быть определены по формуле [9-А]

$$z = \frac{fb}{|y' - y''|},$$

где  $b$  – расстояние между точками фокуса камер;

$y'$  и  $y''$  – координаты проекции центра маркера по оси ординат для первой и второй камеры соответственно.

В четвертой главе разработана структура секторно-пиктографического видеокodeка с управляющей связью от оператора, рассмотрены принципы его функционирования, произведена оценка характеристик и выработаны рекомендации по выбору его параметров [4–А].

Секторно-пиктографический видеокodeк с управляющей связью от оператора формирует панорамное изображение, на котором выделяются подвижные объекты и сектор наблюдения (рисунок 7). Для передачи оператору и последующего отображения в наשלемной системе индикации (НСИ) выделяется фрагмент изображения, в который внедряется дополнительная пиктографическая информация о подвижных объектах вне поля зрения оператора. Для осуществления подобного внедрения данных кодером используется управляющая информация об изменении УОГО [4–А, 13–А]. Кроме того, возможно представление на мониторе информации о подвижных объектах совместно с цифровой картой местности [6–А, 7–А] при использовании совместно с группой панорамных видеокамер рабочих мест, не оснащенных НСИ (рисунок 8).

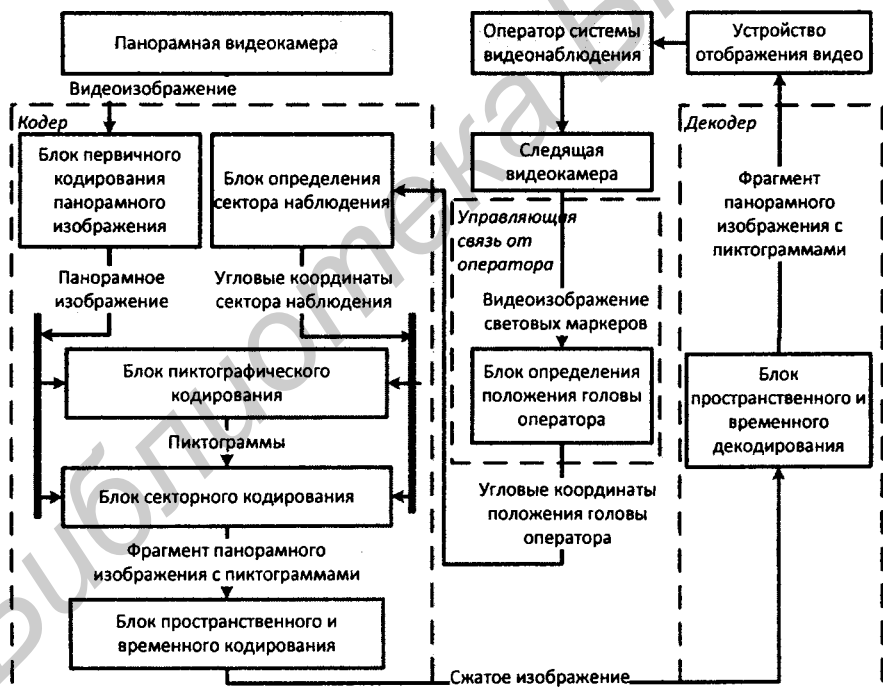
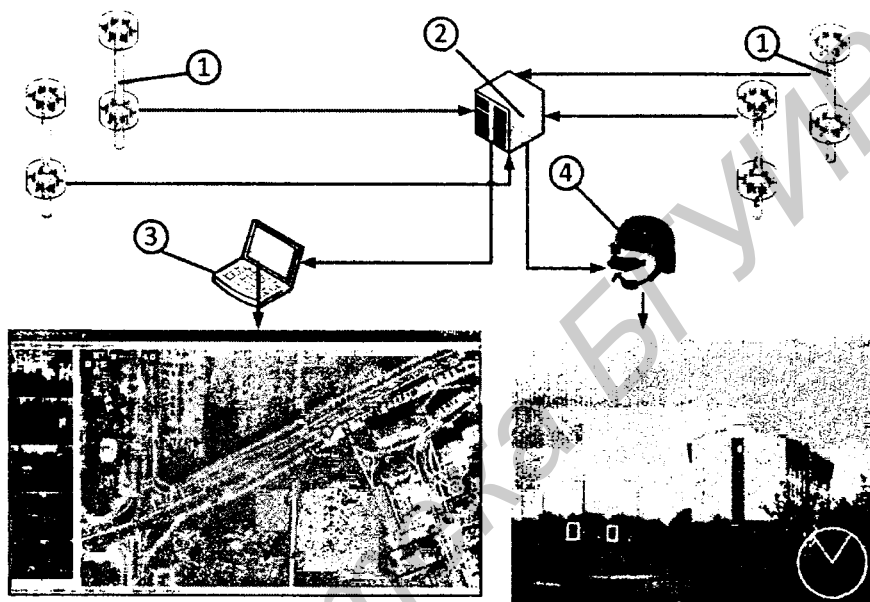


Рисунок 7 – Секторно-пиктографический кодeк панорамных изображений

В таблице 2 приведены рекомендуемые характеристики видеоизображения НСИ при пропускной способности канала связи в диапазоне 1,3–7 Мбит/с с ис-

пользованием метода устранения пространственной избыточности MJPEG [5–А]. Показано, что разработанный видеокодек обеспечивает сжатие панорамных изображений в шесть и более раз по сравнению с методами кодирования, устраняющими только пространственную и временную избыточность, таких как MPEG-4 и H.264.



1 – стереоскопический панорамный дальномер; 2 – блок коммутации; 3 – рабочее место с цифровой картой местности; 4 – рабочее место с НСИ

**Рисунок 8 – Применение управляемого панорамного видеокодека**

**Таблица 2 – Рекомендуемые характеристики видеонизображения для различных пропускных способностей каналов передачи информации**

Скорость канала передачи данных, Мбит/с	Частота кадров, Гц	Коэффициент качества MJPEG, %	Разрешение изображения, пиксели
> 7	25	70	768×576
5,5 – 7	20 – 24	70	768×576
3,7 – 5,5	20	40–70	768×576
2,8 – 3,7	15 – 20	40	768×576
2,6 – 2,8	15	30 – 40	768×576
1,3 – 2,6	15	30–60	384×288

Показано, что при использовании кодека совместно с цифровой картой местности требования к пропускной способности могут быть снижены за счет

передачи только видеофрагментов, содержащих подвижные объекты (рисунок 9), при этом требования к пропускной способности каналов связи снижаются до 20–100 раз по сравнению с использованием полноразмерных панорамных изображений (при числе подвижных объектов от 1 до 20 и линейном размере проекции объекта в 50 пикселей).

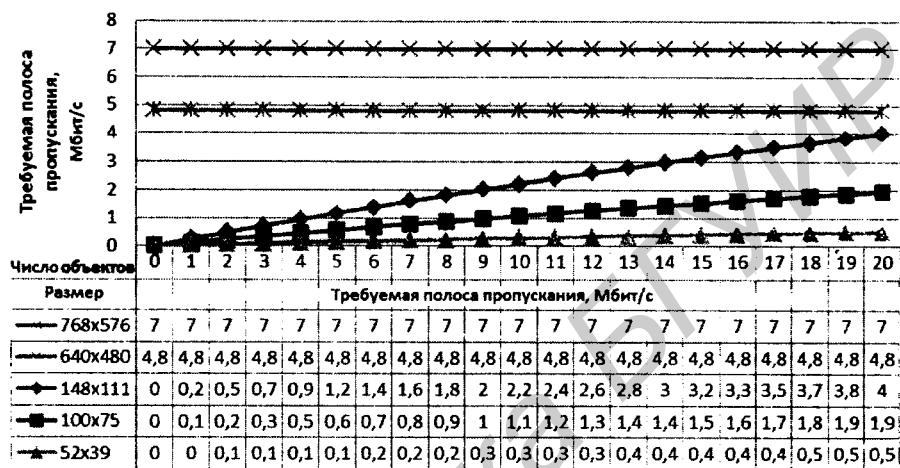


Рисунок 9 – Зависимость полосы пропускания от числа подвижных объектов и размера передаваемого фрагмента изображения

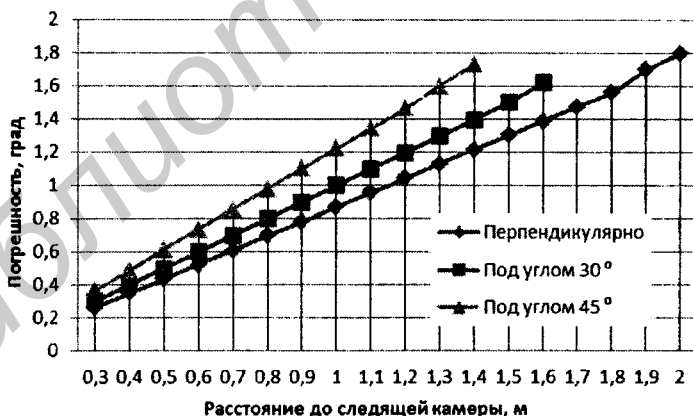


Рисунок 10 – Зависимость погрешности определения УОГО в одной и двух плоскостях от расстояния до следящей камеры

На основе секторного и маркерного методов разработана система видеонаблюдения «Взгляд сквозь броню», включающая в себя блок отслеживания изме-

нения УОГО и поворотную видеокамеру, работающую синхронно с движением головы оператора, и нацеленную систему индикации (НСИ). Разработана система видеонаблюдения «Панорама», включающая в себя фасеточную сборку видеокамер и сенсорный дисплей для отображения информации и управления сектором наблюдения. Установлены технические параметры работы систем видеонаблюдения и определены их значения, комфортные для оператора: максимальная угловая скорость перемещения – не менее 30°/с, дискретность реакции (рисунок 10) на изменение УОГО – 2–3°, задержка реакции на изменение сектор наблюдения – не более 200 мс, частота кадров в НСИ – 25 Гц (минимально 15 Гц) [4–А].

Анализ данных максимальной дистанции обнаружения и погрешности стереоскопического определения координат подвижных объектов показал, что расхождение между экспериментальными и аналитическими оценками в условиях дневного освещения и отсутствия атмосферных явлений не превышает 5 %.

В приложениях представлены обзоры панорамных видеокамер и типов сенсоров определения сектора наблюдения оператора, схемы использования панорамных видеокамер для контроля территорий различной конфигурации, параметры оборудования и фрагменты синтетических и реальных изображений, использовавшихся для тестирования видеокодека.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Предложены матричный метод и алгоритм сшивки изображений для формирования панорамного изображения подвижной сканирующей видеокамерой [10–А, 12–А]. Сущность метода состоит в выборе и оценке подобия блоков пары изображений и последующем определении взаимного смещения блоков. Установлено, что метод обеспечивает сокращение времени совмещения изображений в три и более раза по сравнению с иерархическим и масочным методами поиска ключевых точек.

2. Предложены метод и алгоритм контурного выделения и пиктографического кодирования подвижных объектов, основанные на интегральной матрице бинарных флагов различий [3–А]. Сущность метода состоит в использовании интегральной матрицы для выделения областей движения и формировании для движущегося объекта ограничивающего прямоугольника при помощи двух окон. Установлено, что предложенный метод позволяет в два раза уменьшить число пропущенных объектов, в три раза – количество ложных фрагментов, в два и более раза – среднеквадратичную погрешность определения центров ограничивающих прямоугольников при сопоставимом быстродействии с методами группирования по ячейкам регулярной структуры и сегментации с формированием ограничивающих прямоугольников.



3. Предложен стереограмметрический метод определения пространственных координат подвижных объектов с использованием интегральной матрицы яркости для стереоскопического панорамного дальномера. Сущность метода состоит в установлении соответствий проекций движущегося объекта на паре изображений и стереоскопическом определении расстояния до него [7–А]. Представлены экспериментальные и аналитические оценки максимальной дистанции обнаружения и погрешности стереоскопического определения координат подвижных объектов. Показано, что стереоскопический панорамный дальномер может применяться на дистанции до 100–150 м, а для панорамных сборок видеокамер с несимметричным полем обзора – на дистанции до 300–500 м [6–А, 11–А]. Расхождение экспериментальных и аналитических оценок погрешности в условиях дневного освещения и отсутствия атмосферных явлений не превышает 5 %.

4. Предложен метод секторного кодирования панорамных изображений [4–А, 5–А, 13–А], позволяющий сжимать видеоданные за счет устранения информации, которая не воспринимается оператором, и компактного пиктографического представления данных о подвижных объектах, находящихся вне поля зрения. Сущность метода состоит в переносе информации о подвижных объектах в поле зрения оператора и устранении информации о неподвижных объектах вне его поля. Установлено, что предложенный метод позволяет увеличить коэффициент сжатия видеоданных в шесть и более раз по сравнению с методами, не учитывающими особенности функционирования оператора. Отмечена возможность быстрого поиска и интеграции изображения с текстовой информацией [1–А].

5. Предложен маркерный метод определения сектора наблюдения оператора в одной и двух плоскостях в режиме реального времени, основанный на определении угловой ориентации головы оператора с закрепленными на шлеме инфракрасными маркерами [2–А, 9–А, 8–А]. Показано, что метод позволяет с использованием одного комплекта оборудования одновременно осуществлять определение секторов наблюдения для двух операторов. Установлены характеристики, обеспечивающие работоспособность метода при различных условиях освещенности.

#### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Разработанная модель панорамного видеокодека на основе управляющей связи от оператора может использоваться в мобильных сетях для снижения требований к пропускной способности каналов. Показано, что разработанный видеокодек обеспечивает сжатие панорамных изображений в шесть и более раз за счет использования особенностей восприятия информации человеком и применения управляющей связи от оператора [1–А, 2–А, 3–А, 4–А, 10–А, 12–А].

2. Предложено информацию о подвижных объектах представлять в виде сегментов изображения малого размера, содержащих подвижные объекты, и/или маркеров на цифровой карте местности [1–А, 6–А, 7–А, 11–А]. Это позволяет отображать значительные объемы информации на видеоустройствах с ограничен-

ным разрешением и размерами, а также работать одному оператору с группой подвижных видеокамер при снижении требований к пропускной способности каналов связи оператора в 20–100 раз по сравнению с использованием полноразмерных панорамных изображений (при числе подвижных объектов от 1 до 20 и линейном размере проекции объекта 50 пикселей).

3. Установленные параметры системы определения сектора наблюдения оператора могут использоваться при разработке систем видеонаблюдения, имеющих пространственные ограничения для рабочего места оператора, а также при разработке систем панорамного видеонаблюдения совместно с технологией устранения пространственной избыточности MJPEG при пропускной способности каналов связи в диапазоне от 1,3 до 7 Мбит/с [5–А].

4. Представленные экспериментальные и аналитические оценки максимальной дистанции обнаружения и погрешности стереоскопического определения координат подвижных объектов могут использоваться для разработки стереограмметрических систем [7–А]. Расхождение оценок дистанции в условиях дневного освещения и отсутствия атмосферных явлений для предложенного метода не превышает 5 %.

# СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

## Статьи в рецензируемых научных журналах

1–А. Волков, К.А. Анализ современных поисковых систем / К.А. Волков // Доклады БГУИР. – 2008. – № 7 (37). – С. 55–57.

2–А. Волков, К.А. Быстрая сегментация цветных изображений на основе норменных алгоритмов вычисления метрик цветового пространства / К.А. Волков // Доклады БГУИР. – 2010. – № 5 (51). – С. 47–53.

3–А. Волков, К.А. Метод выделения движущихся объектов на видеоизображении / К.А. Волков // Доклады БГУИР. – 2012. – №1 (63). – С. 92–98.

4–А. Волков, К.А. Кодек для обработки и передачи панорамных видеоданных / К.А. Волков, В.К. Конопелько // Доклады БГУИР. – 2012. – № 4 (66). – С. 12–16.

5–А. Система панорамного видеонаблюдения с управляющей связью от оператора / К.А. Волков, В.К. Конопелько, И.И. Сиротко, В.Ю. Цветков // Доклады БГУИР. – 2013. – № 4 (74). – С. 61–66.

## Статьи в сборниках и материалах конференций

6–А. Волков, К.А. Метод разграничения доступа к трехмерным сценам на основе селективной модификации триангулированной сети / К.А. Волков, В.К. Конопелько, В.Ю. Цветков // Технические средства защиты информации: тез. докл. VIII Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Браслав, Беларусь, 24–28 мая 2010 г. / БГУИР. – Минск, 2010. – С. 36–37.

7–А. Волков, К.А. Метод объектно-ориентированной реконструкции трехмерных сцен на основе сопоставления областей / К.А. Волков // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных : тез. докл. междунар. науч.-техн. семинара, Браслав, Беларусь, 20–24 сент. 2010 г. / БГУИР. – Минск, 2010. – С. 92.

8–А. Fakher, M.M. Half tone multiple-perspective segmentation of panoramic images on the basis of progressive threshold processing / M.M. Fakher, K.A. Volkov, V.Yu. Tsviatkou // 2<sup>nd</sup> Scientific conference for information technology: Applications and Horizons, UOT, Iraq, Baghdad, 20–22 Apr. 2010: in 4 parts. – Baghdad, 2010. – Part 4. – P. 207–222.

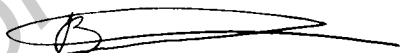
9–А. Волков, К.А. Способы определения направления взгляда оператора видеосенсорной сети / К.А. Волков // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы междунар. науч.-техн. семинара, Минск, янв.–дек. 2011 г. / БГУИР. – Минск, 2011. – С. 33–39.

10–А. Волков, К.А. Способы формирования кругового панорамного видеозображения / К.А. Волков, И.И. Сиротко // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы междунар. науч.-техн. семинара, Минск, янв.–дек. 2011 г./ БГУИР. – Минск, 2011. – С. 57–61.

11–А. Volkov, K.A. Transformation of model representation of a scene at 3D stereoreconstruction of landscapes in e-tourism / K.A. Volkov // 2<sup>nd</sup> Scientific Conference of Electrical Engineering University of Technology Department of Electrical and Electronic Engineering: proceedings, Iraq, Baghdad, 4–5 April 2011. – Baghdad, 2011. – P. 131–140.

12–А. Волков, К.А. Блочный метод взаимного позиционирования изображений с подвижной камеры с использованием интегральных матриц / К.А. Волков, В.К. Конопелько // MILEX-2011: тез. докл. 5-й Междунар. научн. конф. по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения, Минск, 25–26 мая 2011 г. / ГУ «БелИСА». – Минск, 2011. – С. 101–103.

13–А. Волков, К.А. Кодирование панорамных видеоданных, управляемое оператором / К.А. Волков, В.Ю. Цветков // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы междунар. науч.-техн. семинара, Минск, янв.–дек. 2012 г. / БГУИР. – Минск, 2012. – С. 5–10.



## РЭЗІЮМЭ

Волкаў Кірыл Аркадзевіч

### Кадаванне панарамных малюнкаў ў мабільных сістэмах відэаназірання з аператарам

*Ключавыя словы:* кадаванне панарамных малюнкаў, сумяшчэнне малюнкаў, якія перакрываюцца, піктаграфічнае кадаванне рухомых аб'ектаў, мабільныя сістэмы відэаназірання з аператарам.

Мэтай працы з'яўляецца распрацоўка метадаў і сродкаў піктаграфічнага і сектарнага кадавання панарамных малюнкаў ў мабільных сістэмах з аператарам. Паказана, што існуючыя метады спіску відэададзеных, заснаваныя на ліквідацыі прасторавага і часовага лішку, не эфектыўныя для панарамных малюнкаў з-за вялікага аб'ёму інфармацыі, якая перадаецца. Устаноўлена, што дадатковага істотнага спіску відэададзеных можна дасягнуць за кошт перадачы інфармацыі ў межах сектара назірання аператара. Для павышэння каэфіцыента спіску распрацаваны метады сектарнага і піктаграфічнага кадавання панарамных малюнкаў, якія выкарыстоўваюць кіравальную сувязь. Сутнасць сектарнага метада заключаецца ў выкарыстанні для перадачы толькі фрагмента панарамнага малюнка, размешчанага ў сектары назірання аператара, і выключэння вобласці, размешчанай па-за яго полем зроку. Сутнасць метада контурнага вылучэння і піктаграфічнага кадавання заключаецца ў спіску інфармацыі аб рухомых аб'ектах, якія з'яўляюцца важнымі для задачы відэаназірання, да піктаграфічнага прадстаўлення і далейшай іх інтэграцыі з малюнкам, які перадаецца. Паказана, што найбольшых вылічальных выдаткаў у гэтых метадах патрабуюць аперацыі шшыўкі панарамных малюнкаў і выяўлення рухомых аб'ектаў, якія можна значна паскорыць за кошт выкарыстання інтэгральных матрыц яркасці і кантраснасці. Устаноўлена, што выкарыстанне сектарнага і піктаграфічнага метадаў дазваляе павялічыць каэфіцыент спіску відэададзеных ў шэсць і больш разоў у параўнанні з метадамі, якія не ўлічваюць асаблівасці функцыянавання аператара.

На аснове прапанаваных метадаў і алгарытмаў піктаграфічнага і сектарнага кадавання распрацаваны праграмныя модулі сектарна-піктаграфічнага відэакодака з кіруючай сувяззю ад аператара для спіску панарамных малюнкаў ў мабільных сістэмах відэаназірання і павышэння за кошт гэтага іх прапускной здольнасці. Вынікі дысертацыйнай працы выкарыстаны ў КБ «Дысплей» і ўкаранёны ў навучальны працэс у Беларускай дзяржаўным універсітэце інфарматыкі і радыёэлектронікі.

## РЕЗЮМЕ

Волков Кирилл Аркадьевич

### Кодирование панорамных изображений в мобильных системах видеонаблюдения с оператором

*Ключевые слова:* кодирование панорамных изображений, совмещение перекрывающихся изображений, пиктографическое кодирование подвижных объектов, мобильные системы видеонаблюдения с оператором.

Целью работы является разработка методов и средств пиктографического и секторного кодирования панорамных изображений в мобильных системах с оператором. Показано, что существующие методы сжатия видеоданных, основанные на устранении пространственной и временной избыточности, не эффективны для панорамных изображений из-за большого объема передаваемой информации. Установлено, что дополнительного существенного сжатия видеоданных можно достичь за счет передачи информации в пределах сектора наблюдения оператора. Для повышения коэффициента сжатия разработаны методы секторного и пиктографического кодирования панорамных изображений, которые используют управляющую связь. Суть секторного метода заключается в использовании для передачи только фрагмента панорамного изображения, расположенного в секторе наблюдения оператора, и исключении области, расположенной вне его поля зрения. Суть метода контурного выделения и пиктографического кодирования состоит в сжатии информации о подвижных объектах, являющихся важными для задачи видеонаблюдения, до пиктографического представления и последующей их интеграции с передаваемым изображением. Показано, что наибольших вычислительных затрат в этих методах требуют операции сшивки панорамных изображений и обнаружения подвижных объектов, которые можно значительно ускорить за счет использования интегральных матриц яркости и контрастности. Установлено, что использование секторного и пиктографического методов позволяет увеличить коэффициент сжатия видеоданных в шесть и более раз по сравнению с методами, не учитывающими особенности функционирования оператора.

На основе предложенных методов и алгоритмов пиктографического и секторного кодирования разработаны программные модули секторно-пиктографического видеокodeка с управляющей связью от оператора для сжатия панорамных изображений в мобильных системах видеонаблюдения и повышения за счет этого их пропускной способности. Результаты диссертационной работы использованы в КБ «Дисплей» и внедрены в учебный процесс в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники.

## SUMMARY

Kirill A. Volkov

### **Coding of panoramic images in mobile systems of video surveillance with the operator**

*Keywords:* coding of panoramic images, combination of overlapped images, pictographic coding of mobile objects, mobile systems of video surveillance with the operator.

The purpose of work is development of methods and means of pictographic and sector coding of panoramic images in mobile systems with the operator. It is shown that existing methods of compression of the video data, based on elimination of spatial and temporary redundancy, aren't effective for panoramic images because of large volume of the transmitted data. It is established that additional essential compression of video data can be reached at the expense of information transfer within sector of supervision of the operator. Methods of sector and pictographic coding of panoramic images which use operating communication are developed for increase of coefficient of compression. The essence of a sector method consists in use for transfer only a fragment of the panoramic image located in sector of supervision of the operator, and an exception of the area located out of its field of vision. The essence of a method of contour allocation and pictographic coding consists in compression information on the mobile objects being important for a problem of video surveillance to pictographic representation and the subsequent their integration into the transferred image. It is shown that the greatest computing expenses in these methods are demanded by operation of a stitching of panoramic images and detection of mobile objects which can be accelerated considerably at the expense of use of integrated matrixes of brightness and contrast. It is established that use of sector and pictographic methods allows increasing coefficient of compression of video data in six and more times in comparison with the methods which aren't considering features of functioning of the operator.

On the basis of the offered methods and algorithms of pictographic and sector coding software modules of the sector-pictographic video codec with operating communication from the operator are developed for compression of panoramic images in mobile systems of video surveillance and increase at the expense of it their capacity. Results of dissertation work are used in KB "Display" and introduced into the educational process at the Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics.

*Научное издание*

**Волков Кирилл Аркадьевич**

**КОДИРОВАНИЕ ПАНОРАМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В МОБИЛЬНЫХ  
СИСТЕМАХ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ОПЕРАТОРОМ**

Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

---

Подписано в печать 11.10.2013	Формат 60x84 1/16	Бумага офсетная
Гарнитура «Таймс»	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,3.	Тираж 60 экз.	Заказ 499.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.  
220013, Минск, П. Бровки, 6