

Раздел IV. Новые информационные технологии

УДК 681.3.014

**С.Н. Дроздов, А.А. Жиглатый, П.П. Кравченко, С.В. Скороход,
Н.Ш. Хусайнов**

ОБ ОПЫТЕ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ВИДЕОТРАНСЛЯЦИИ В ФОРМАТЕ JPEG2000 И ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТА JPEG2000 ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ВИДЕО И МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ С БОРТА БПЛА

Рассматриваются вопросы реализации базовых рекомендаций по компрессии и помехоустойчивому кодированию изображений, которые входят в наиболее эффективный на сегодняшний день международный стандарт в области кодирования статических (неподвижных) изображений ITU-T Rec. T-8xx "JPEG2000 Image Coding System". Выполнен обзор принципиальных возможностей и особенностей реализации стандартов ITU-T Rec. T-800 и ITU-T Rec. T-810, а также средств управления скоростью кодового потока JPEG2000, которые положены в основу разработанной программной системы трансляции компрессированных по алгоритму JPEG2000 видеоданных в реальном масштабе времени по цифровым каналам связи в условиях ограничения пропускной способности канала связи. Особое внимание уделяется обзору перспектив применения стандарта JPEG2000 для передачи в реальном масштабе времени информации, формируемой монохромными, панхроматическими (цветными), мульти- и гиперспектральными системами технического зрения беспилотных летательных аппаратов, в наземный пункт управления.

JPEG2000; компрессия изображений; помехоустойчивое кодирование; управление скоростью кодового потока; мультиспектральные изображения; беспилотный летательный аппарат.

S.N. Drozdov, A.A. Zhiglaty, P. P. Kravchenko, S.V. Skorokhod, N.Sh. Khusainov

ON THE EXPERIENCE OF JPEG2000 BROADCASTING SYSTEM IMPLEMENTATION AND ABOUT PERSPECTIVES OF JPEG2000 STANDARD USING FOR TRANSMISSION OF VIDEO AND MULTISPECTRAL DATA FROM UAV

The work deals with the implementation of basic recommendations for effective and channel coding that are the most effective to date in the field of international standard coding still image ITU-T Rec. T-8xx "JPEG2000 Image Coding System". A review of the fundamental capabilities and features of the implementation of standards ITU-T Rec. T- 800 and ITU-T Rec. T- 810, and the bitrate control of the JPEG2000 codestream, which are the basis of a software system developed for the broadcasting of compressed JPEG2000 video in real time on digital communication channels under limited bandwidth communication channel. Particular attention is given to the review of the prospects of the standard JPEG2000 to transmit real-time information formed monochrome, panchromatic, multi- and hyperspectral vision system of unmanned aircraft to ground control station.

JPEG2000; image compression; error-correcting coding; bitrate control; multispectral images; unmanned aerial vehicle.

Концепция "сетевых военных действий" (network-centric warfare) неразрывно связана с развитием информационных технологий и использованием их в военном деле. Внедрение в вооруженные силы высокопроизводительных

многофункциональных вычислительных устройств, современного программного обеспечения, цифровых систем передачи данных, объединение пространственно рассредоточенных сил и средств в глобальные и локальные информационные сети, в которых обмен данными между потребителями не только по "вертикали", но и "по горизонтали" может существенно повысить эффективность ведения боевых действий [1].

Современная концепция сетецентрических войн отводит беспилотным летательным аппаратам (БПЛА) значительную роль в сборе разведывательной информации. Основным требованием к системам передачи данных систем технического зрения БПЛА в наземный пункт управления является обеспечение качества информации. Оно характеризуется разрядностью и формой пикселей, их цветностью, а также количеством пикселей в кадре изображения, частотой кадров, форматом кадра (соотношением сторон), степенью сжатия изображения, вероятностью появления ошибочных пикселей в кадре, типом изображений и их содержанием. Однако существенной проблемой остается ограничение пропускной способности используемых каналов связи. Для передачи кодового потока видеоизображений высокого разрешения (1080 p или 720 p) требуется пропускная способность 5–20 Мбит/сек [2]. Для изображений с большим количеством спектральных каналов (мульти- и гиперспектральных изображений) объем передаваемой информации увеличивается на порядки.

Стандарт JPEG2000 является на сегодняшний день наиболее эффективным международным стандартом, разработанным ISO и рекомендованным ITU-T для применения в области кодирования статичных (неподвижных) изображений [3]. Стандарт представляет собой развитие стандарта кодирования JPEG, однако существенно отличается от своего прототипа. К наиболее принципиальным отличиям стандарта JPEG2000 от стандарта JPEG можно отнести [4, 5]:

- ◆ более высокая эффективность в случае необходимости получения высокой степени компрессии (меньшие значения ошибок компрессии по субъективным и объективным критериям оценок качества) и устранение неэффективного сжатия в области низких частот в первую очередь за счет использования вейвлет-преобразования (вместо дискретно-косинусного преобразования в JPEG);
- ◆ возможность обработки бинарных и многоуровневых (в том числе с расширенным динамическим диапазоном – до 38 битов на один пиксел) изображений и изображений больших размеров (до $2^{32}-1 \times 2^{32}-1$ пикселей) с максимальным количеством цветовых компонент, равным 2^{14} ;
- ◆ обеспечение возможности сжатия изображений с потерями или без потерь в рамках единой методологии обработки изображения;
- ◆ поддержка возможности задания пользователем желаемого размера выходного компрессированного файла (кодового потока);
- ◆ масштабируемость битового потока по точности и разрешению. JPEG2000 предполагает такой формат битового потока, который позволяет последовательно идентифицировать и выделять фрагменты потока, соответствующие тому или иному уровню разрешения изображения, а также фрагменты, соответствующие тому или иному вкладу в итоговое качество "картинки". Это позволяет обеспечивать "прогрессивный" (с последовательным повышением качества и/или разрешения) режим передачи и загрузки изображения при ограничениях пропускной способности каналов связи;
- ◆ поддержка возможности кодирования и передачи в одном кодовом потоке областей изображения, компрессированных с более высоким качеством по отношению к остальному изображению (Region-Of-Interest, ROI);

- ◆ устойчивость к ошибкам, возникающим в процессе передаче по зашумленным каналам связи;
- ◆ возможность обработки изображения "за один проход" по мере получения фрагментов изображения, без накопления и хранения в буфере целого кадра, что особенно важно при аппаратной реализации кодека на специализированных СБИС;
- ◆ возможность ограничения несанкционированного доступа к компрессированному битовому потоку с использованием алгоритмов криптографической защиты информации.

Далее рассматриваются ключевые элементы стандарта JPEG2000, реализованные в разработанной программной системе трансляции компрессированных по алгоритму JPEG2000 видеоданных (без межкадровой компрессии) в реальном масштабе времени при ограниченной пропускной способности канала связи.

Характеристика стандарта JPEG 2000. Стандарт JPEG 2000 в своей базовой части [3] предоставляет возможности выбора значений многочисленных параметров кодирования растровых изображений, существенно влияющих на размер кодового потока и качество восстановленного изображения. При декодировании значения параметров считываются из заголовков кодового потока, и декодер должен обеспечить корректное восстановление исходного изображения. Предусмотрена возможность ограничения значений параметров декодируемого потока в соответствии с одним из перечисленных в стандарте подмножеств (профилей).

Процесс кодирования состоит из последовательных этапов преобразования исходных растровых данных. Стандарт предусматривает выбор одного из двух режимов преобразования. Обратимый режим требует использования только целочисленной арифметики и при этом позволяет добиться кодирования без потерь информации. При этом, получаемая степень сжатия невысока. Необратимый режим предполагает использование на некоторых этапах операций с плавающей точкой. Возникающие при этом ошибки округления приводят к искажениям восстановленного изображения. Имеется возможность за счет выбора параметров кодирования добиться желаемого компромисса между размером кодового потока и величиной искажений.

Основными этапами кодирования являются следующие.

Разбиение изображения на тайлы – прямоугольные независимо кодируемые области.

Разделение изображения на цветовые компоненты.

Преобразование (сдвиг) целочисленных значений интенсивности компонент из беззнакового формата ($0 \dots 2^m - 1$) в знаковый ($-2^{m-1} \dots 2^{m-1} - 1$);

Для цветных изображений в формате RGB – необратимое либо обратимое преобразование значений интенсивности компонент из цветового пространства RGB в пространство YCbCr.

Многоуровневое двумерное дискретное вейвлет-преобразование каждой компоненты, обратимое либо необратимое, приводящее к разложению исходной матрицы интенсивностей на набор матриц коэффициентов для различных уровней разрешения и частотных поддиапазонов.

Разбиение каждого поддиапазона на квадратные блоки кодирования заданного размера (обычно 64×64).

В случае использования необратимых преобразований – квантование коэффициентов блока с заданной величиной шага и переход к нормализованному целочисленному представлению коэффициентов в прямом коде.

В случае использования обратимых преобразований – только переход к нормализованному целочисленному представлению.

Преобразование матрицы коэффициентов блока в удобную для дальнейшего кодирования последовательность битов, организованную в виде трех проходов по каждой битовой плоскости блока в порядке убывания значимости плоскостей, с учетом значимости 8 соседей для каждого бита и истории предыдущих проходов.

Кодирование потока битов блока с помощью алгоритма адаптивного двоичного арифметического кодирования (MQ-кодера [4]).

Ограничение размера кодированного потока путем разделения проходов кодера на слои качества на основании оценки их влияния на качество изображения и, возможно, отбрасывание наименее значимых слоев

Формирование пакетов кода, представляющих собой наборы проходов кодера для каждой компоненты изображения, слоя качества, уровня разрешения и участка.

Формирование и выдача кодового потока, содержащего пакеты кода, отсортированные в заданной последовательности и снабженные необходимыми заголовками и маркерами.

Декодер JPEG 2000 выполняет процедуры, обратные к перечисленным выше, в обратной последовательности этапов.

Ограничение размера кодового потока достигается в основном путем отбрасывания пакетов, относящихся к проходам кодера по младшим битовым плоскостям матрицы коэффициентов, что фактически означает уменьшение точности представления коэффициентов.

Важной особенностью стандарта JPEG 2000 является возможность задания региона интереса – области изображения, в которой кодирование должно выполняться с повышенной точностью, пусть даже ценой увеличения искажений в остальной части изображения.

Были выполнены программные реализации кодера и декодера изображений в соответствии с базовым стандартом JPEG 2000. Возможности разработанного декодера соответствуют подмножеству базового стандарта JPEG 2000, определенному как Профиль 0 и Класс 0 [3, 6]. Сверх требований данного подмножества стандарта, обеспечивается поддержка изображений с размерами до 1024×768 пикселей и числом цветовых компонент от 1 до 3 [7].

Имеется возможность задать ряд параметров кодирования, позволяющих установить необходимый баланс между качеством закодированного изображения, размером кодового потока и возможностью защиты от помех. К таким параметрам относятся, в частности, количество уровней вейвлет-преобразования, использование обратимого либо необратимого режима кодирования, размеры блоков кодирования и пространственных участков, способ определения шагов квантования коэффициентов, режимы работы арифметического кодера, использование некоторых необязательных маркеров кодового потока.

Помехоустойчивое кодирование. Защита кодового потока JPEG2000 от ошибок передачи данных в беспроводных сетях выполняется в соответствии со стандартом T.810 (далее JPWL) [7].

Средства JPWL могут использовать два способа защиты:

- ◆ контрольные суммы CRC-16 или CRC-32 – позволяют только обнаружить присутствие ошибок в данных при использовании минимального объема кодов четности;
- ◆ коды Рида-Соломона $RS(n,k)$ [8] – предназначены не только для обнаружения, но и для исправления искаженных данных при использовании значительно большего объема кодов четности. Здесь n – длина кодового слова в байтах, включающего защищаемый фрагмент данных и коды четности, а k – количество байт защищаемых данных. Стандартом предусмотрено использование целого семейства RS-кодов от наиболее “слабых” $RS(37,32)$ до наиболее “сильных” $RS(128,32)$ и $RS(160,64)$.

Рассмотрим вопрос способности стандартных способов защиты JPWL противостоять ошибкам передачи данных. Контрольные суммы CRC-16 и CRC-32 не способны восстанавливать искаженные данные. Их использование в зашумленном канале приводит к потере части тайлов или всего видеокадра в целом, в зависимости от интенсивности и распределения ошибок. Коды Рида-Соломона $RS(n, k)$ способны восстановить $(n-k)/2$ искаженных байт данных в кодовом слове длиной n байт, содержащем k байт информации.

Передача данных по сети выполняется пакетами. На уровне транспортного протокола проверка целостности пакета основывается на контрольных суммах. При несовпадении контрольной суммы пакет отбрасывается. Таким образом, наиболее распространенным видом ошибок в кодовом потоке JPEG2000 является отсутствие непрерывного блока данных длиной, равной длине передаваемого пакета. Смогут ли RS-коды восстановить эту потерю?

Кодовое слово $RS(n, k)$ состоит из двух частей расположенных в разных частях кодового потока. Первую часть составляют избыточные коды четности длиной $(n-k)$ байт. Вторая часть – k информационных байт, защищаемых от искажения. При потере пакета возможны три варианта.

Вариант 1. Обе части кодового слова потеряны – восстановление невозможно.

Вариант 2. Потеряны избыточные коды четности – восстановление невозможно.

Вариант 3. Потеряны только информационные байты – восстановление возможно только если $k \leq (n-k)/2$. Этому условию соответствуют только коды $RS(80,25)$, $RS(40,13)$, применяемые для защиты заголовков тайлов, и $RS(96,32)$, $RS(112,32)$, $RS(128,32)$, применяемые для защиты данных тайлов. Остальные 14 предопределенных стандартом кодов не способны произвести восстановление.

Применение указанных кодов приводит к исправлению пакетной ошибки только в одном из трех перечисленных случаев. Но цена за это – более чем трехкратное увеличение выходного кодового потока JPWL в сравнении с входным потоком JPEG2000. В целом, такой способ защиты данных нельзя назвать удовлетворительным.

Авторами был успешно применен алгоритм внутрикадрового чередования кодового потока, который позволяет существенно повысить способность RS-кодов корректировать ошибки за счет перестановки сегментов в кодовом потоке JPEG2000 [9]. Применение данного варианта кодирования обеспечивает возможность исправления пакетных ошибок уже при использовании относительно “слабого” кода $RS(45,32)$. При этом кодовый поток увеличивается всего на 41 %.

Адаптация скорости выходного потока к заданной пропускной способности канала связи. Необходимость управления скоростью выходного кодового потока возникает при использовании сетевого канала с ограниченной пропускной способностью. Сетевой трафик JPEG2000 формируется на основе готового для передачи по сетевому каналу кодового потока с учетом "накладных расходов", добавляемых протоколами сетевой передачи [11–13].

В стандарте ITU-T Rec. T.800 (JPEG2000) не предусмотрена возможность межкадровой компрессии. Таким образом, сетевой трафик фрагментирован (по кадрам), а частота поступления фрагментов в сетевой канал передачи данных является заданной. Поэтому задача управления скоростью выходного кодового потока сводится к задаче ограничения объема каждого фрагмента сетевого трафика за счет управления размером кодового потока JPEG2000 для каждого кадра в отдельности.

Решение этой задачи выполняется в два этапа [9].

На первом этапе происходит предсказание размера сетевого трафика для кадра, поступающего на обработку. Оно выполняется на основе сбора данных о сетевом трафике, формируемом при передаче обработанных кадров в сетевой канал, и времени формирования этого трафика. На основе этих данных формируется "история" процесса кодирования и передачи данных. Для управления чувствительностью к моментальным изменениям объема сетевого трафика вводится возможность варьирования числом кадров (длинной «истории»), по которым ведется сбор данных. Т.е. для каждого кадра, поступающего на обработку, "история" содержит интересующие нас параметры кодирования по задаваемому числу последних кадров видеопоследовательности относительно текущего. Действительная длина истории изменяется в случае, когда число обработанных кадров меньше заданной длины "истории". По данным, входящим в "историю", вычисляется общий объем исходящего сетевого трафика и время его выдачи в сетевой канал. На их основе вычисляется реальный битрейт сетевого кодового потока и сравнивается с заданным ограничением битрейта. На основе полученного отклонения определяется размер и знак компенсационной добавки, позволяющей удерживать сетевой трафик в заданных рамках. Таким образом, предсказываемый размер сетевого трафика для кадра, поступающего на обработку, вычисляется как совокупность усредненного по "истории" размера сетевого трафика для одного кадра и компенсационной добавки. При этом обеспечивается плавное изменение ограничения сетевого трафика для очередного кадра, а также стремление исходящего сетевого трафика, усредненного на некотором интервале времени, к величине заданного лимита пропускной способности сетевого канала передачи данных.

На втором этапе выполняется пошаговое "обратное" преобразование величины предсказанного ограничения объема сетевого трафика для кадра, поступающего на обработку, в величину, определяющую ограничение размера кодового потока, формируемого на первом этапе обработки изображения кодером JPEG2000. Сначала вычисляется лимит размера кодового потока, получаемого после применения помехоустойчивого кодирования без учета накладных расходов сетевого трафика. Затем в зависимости от используемого алгоритма помехоустойчивого кодирования вычисляется лимит размера кодового потока JPEG2000 без накладных расходов на помехоустойчивое кодирование.

По результатам экспериментальных исследований что разработанный авторами алгоритм управления скоростью выходного потока кодера обеспечивает высокую стабильность битрейта. Так, при заданном ограничении выходного сетевого трафика на уровне 8 Мбит/сек отклонение объема фактического сетевого трафика от заданного не превышает 150 байт и уменьшается с ростом размера скользящего окна.

Основные результаты экспериментов по трансляции изображений в формате JPEG2000. С использованием разработанного программного обеспечения проведены исследования параметров базовых библиотек и фактических характеристик передачи JPEG2000-потока по каналу Ethernet на качество упакованного изображения и объем кодового потока. В качестве исходных данных использованы видеопоследовательности цветных (RGB) и серых (Grayscale) кадров нескольких стандартных форматов от 702x576 пикселей до 1024x768 пикселей с частотой от 25 Гц до 50 Гц. Для выбранных видеформатов исходный битовый поток несжатого видео в экспериментах варьируется в пределах 90..940 Мбит/сек. По численным оценкам, полученным при проведении экспериментов, сделаны выводы об эффективности использования тех или иных режимов и параметров работы разработанных программных библиотек.

В частности, в ходе экспериментов получены результаты, показывающие, что кодер JPEG2000 в режиме компрессии с потерями (необратимый режим) позволяет обеспечить коэффициент компрессии порядка 40–50 раз при достаточно высоком качестве изображения и до 200 раз – при существенном ухудшении качества картинки. При этом суммарная скорость сетевого потока, выдаваемого передатчиком в канал связи канала связи (без искусственного ограничения скорости кодового потока и использования ROI), варьировалась от 10..12 Мбит/сек до 1,5 Мбит/сек.

В части помехоустойчивого кодирования следует отметить эффективность применения технологии чередования, которая дает возможность повысить эффективность помехоустойчивого кодирования кодов RS(64, 32) до уровня оригинальных кодов RS(128, 32) при двукратном выигрыше в объеме избыточных данных.

Применение разработанного алгоритма управления битрейтом позволило получать для исходных видеопоследовательностей кодовый поток со скоростью до 1 Мбит/сек. При этом достаточно высокое качество изображения на столь низких битрейтах может быть обеспечено только на ограниченных участках изображений (размером, соответствующим 1–2 тайлам) с использованием режима ROI, поддерживаемым стандартом JPEG2000.

Возможности применения стандарта JPEG2000 для компрессии и передачи данных систем технического зрения БПЛА в наземный пункт управления. По результатам аналитического обзора открытых источников, содержащих информацию о существующих и перспективных системах технического зрения БПЛА, а также о параметрах каналов передачи данных, авторами сформированы основные требования к "унифицированным" схемам кодирования информации, получаемой с сенсоров БПЛА (табл. 1) [1–7, 9, 14].

Таблица 1

Сопоставительный анализ перспективных требований к системе компрессии и передачи видеoinформации, формируемой в системах технического зрения БПЛА, и возможностей стандарта JPEG2000 как универсального средства кодирования данных

Параметр СТЗ БПЛА	Диапазон значений для различных типов перспективных СТЗ БПЛА	Возможности стандарта JPEG2000
Количество спектральных компонент	От 1 (для монохромных видео и радиолокационных СТЗ) до 1000 (для гиперспектральных СТЗ)	Количество поддерживаемых цветовых компонент: от 1 до 2^{14}
Динамический диапазон	1..14 бит/пиксел	Динамический диапазон – до 38 бит/пиксел
Пространственное разрешение	До 1080p (видео) и выше (мульти- и гиперспектральные СТЗ)	Разрешение цветовой компоненты: до $2^{32}-1 \times 2^{32}-1$ пикселов
Качество кодирования изображения	Предельно высокое, в том числе для отдельных фрагментов изображения	Кодирование с потерями и без потерь. Функция ROI в режиме кодирования с потерями при ограничении битрейта
Формат данных, поддерживающий масштабируемость изображения	Декодирование изображения может выполняться с различным уровнем качества и разрешения	Кодовый поток предполагает возможность восстановления изображения с повышением пространственного разрешения и качества изображения в зависимости в зависимости от ресурсов приемного устройства

Параметр СТЗ БПЛА	Диапазон значений для различных типов перспективных СТЗ БПЛА	Возможности стандарта JPEG2000
Степень компрессии, скорость кодированного потока	От 16 Кбит/сек (тактические узкополосные каналы связи) до 25 Мбит/сек	Коэффициент компрессии – до 200 раз, требуемая нижняя граница может быть достигнута при низком пространственном разрешении и использовании функции ROI.
Надежность передачи данных	Работа при надежности канала связи на уровне $10^{-7} \dots 10^{-6}$ (вероятность ошибки)	Поддерживается помехоустойчивое кодирование, адаптированное для беспроводных каналов связи с возможностью восстановления данных после пакетных ошибок
Возможность эффективной аппаратной реализации	-	Эффективная аппаратная реализация алгоритмов дискретного вейвлет-преобразования и лифтинг-схемы, работы с кодовым потоком

Следует отметить, что в настоящее время требования к формату и качеству передаваемой с БПЛА "картинки" формулируются на уровне стандартов армий стран – участниц НАТО [15, 16]. Активно ведутся работы как по обеспечению передачи видеоизображений высокой четкости (формат 1080 p или аналоги) с межкадровым кодированием по широкополосным беспроводным каналам (до 100 Мбит/сек), так и по передаче изображений без потерь через узкополосные тактические каналы связи со скоростью передачи данных до 16 кбит/с [1, 2].

Благодаря возможностям эффективного распараллеливания алгоритмов обработки данных в JPEG2000, при построении систем технического зрения БПЛА можно использовать готовые аппаратные решения (COTS-технологии), обеспечивающие реализацию отдельных стандартов семейства JPEG2000 на аппаратном уровне (цифровые сигнальные процессора, платы расширения и т.п.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов В., Федутин Д. Тенденции развития систем передачи данных при использовании БЛА // Зарубежное военное обозрение. – 2004. – № 4. – С. 47-52.
2. Слюсар В. Передача данных с борта БПЛА: Стандарты НАТО // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2010. – № 3. – С. 80-86.
3. ITU-T Recommendation T.800. Information Technology – JPEG2000 Image Coding System: Core Coding System. – Введ. 2002–08–01. – Geneva: ITU-T Series T: Terminal for Telematic Services, 2003. – 212 p.
4. Taubman D.S., Marcellin M.W. JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002. – 773 p.
5. Acharya T., Tsai P. JPEG2000 standard for image compression: concepts, algorithms and VLSI architectures. – Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2005. – 274 p.
6. ITU-T Recommendation T.803. Information Technology – JPEG2000 Image Coding System: Conformance testing. – Введ. 2002–01–01. – Geneva: ITU-T Series T: Terminal for Telematic Services, 2004. – 46 p.
7. ITU-T Recommendation T.810. Information Technology – JPEG2000 Image Coding System: Wireless. – Введ. 2006–05–01. – Geneva: ITU, 2007. – 60 p.
8. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. – М.: Изд-во Техносфера, 2005. – 320 с.
9. ITU-T Recommendation T.810. Information Technology – JPEG 2000 image coding system: Wireless. Amendment 1: IP based wireless networks. – Введ. 2012–01–01. – Geneva: ITU-T Series T: Terminal for Telematic Services, 2012. – 6 p.

10. Дроздов С.Н., Жиглатый А.А., Кравченко П.П., Скороход С.В., Хусаинов Н.Ш. Об опыте практической реализации стандартов семейства JPEG2000 при разработке программной системы трансляции видеопотока в реальном масштабе времени в условиях ограниченного сетевого ресурса // Материалы Девятой Всероссийской научно-практической конференции "Перспективные системы и задачи управления" и Четвертой молодежной школы-семинара "Управление и обработки информации в технических системах". – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2014. – С. 459-472.
11. *Network Working Group*. RFC 5371. RTP Payload Format for JPEG 2000 Video Streams. – Введ. 2008-10-01. – The Internet Security (IETF), 2006. – 31 p.
12. *Network Working Group*. RFC:2327. SDP: Session Description Protocol. – Введ. 1998-04-01. – Cambridge: Изд-во Information Sciences Institute, 1998. – 42 с.
13. *Network Working Group*. RFC:2974. Session Announcement Protocol. – Введ. 2000-10-01. – Marina del Rey: Изд-во Information Sciences Institute, 2000.– 18с.
14. *The JPEG2000 Suite* / Ed. by P. Schelkens, A. Skodras, T. Ebrahimi. – John Wiley & Sons Ltd, 2009 – 533 p.
15. STANAG 4609/AEDP-8. NATO Digital Motion Imagery Format. – www.nato.int/structure/AC/224/standard/4609/4609.htm.
16. Unmanned aerial vehicles roadmap 2002-2027 (UAV Roadmap). – Office of the Secretary of Defence. – 2003. – 208 p.

REFERENCES

1. Popov V., Fedutinov D. Tendentsii razvitiya sistem peredachi dannykh pri ispolzovanii BLA [Trends in the development of systems of data transfer when using BLAH], *Zarubezhnoe voennoe obozrenie* [Foreign Military Review], 2004, No. 4, pp. 47-52.
2. Slyusar V. Peredacha dannykh s borta BPLA: Standarty NATO [Data transfer from UAV Board: NATO Standards], *Elektronika: Nauka, tekhnologiya, biznes* [Electronics: Science, Technology, Business], 2010, No. 3, pp.80-86.
3. ITU-T Recommendation T.800. Information Technology – JPEG2000 Image Coding System: Core Coding System. Vved. 2002–08–01. Geneva: ITU-T Series T: Terminal for Telematic Services, 2003, 212 p.
4. Taubman D.S., Marcellin M.W. JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002, 773 p.
5. Acharya T., Tsai P. JPEG2000 standard for image compression: concepts, algorithms and VLSI architectures. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2005, 274 p.
6. ITU-T Recommendation T.803. Information Technology – JPEG2000 Image Coding System: Conformance testing. Vved. 2002–01–01. Geneva: ITU-T Series T: Terminal for Telematic Services, 2004, 46 p.
7. ITU-T Recommendation T.810. Information Technology – JPEG2000 Image Coding System: Wireless. Vved. 2006–05–01. Geneva: ITU, 2007, 60 p.
8. Morelos-Saragosa R. Isskusstvo pomekhoustoychivogo kodirovaniya. Metody, algoritmy, primeneniye [The art of error correcting coding. Methods, algorithms, applications]. Moscow: Izd-vo Tekhnosfera, 2005, 320 p.
9. ITU-T Recommendation T.810. Information Technology – JPEG 2000 image coding system: Wireless. Amendment 1: IP based wireless networks. Vved. 2012–01–01. Geneva: ITU-T Series T: Terminal for Telematic Services, 2012, 46 p.
10. Dроздов С.Н., Жиглатый А.А., Кравченко П.П., Скороход С.В., Хусаинов Н.Ш. Об опыте практической реализации стандартов семейства JPEG2000 при разработке программной системы трансляции видеопотока в реальном масштабе времени в условиях ограниченного сетевого ресурса [About the experience of practical implementation of the standards of the family JPEG2000 when developing software systems broadcast video stream in real time, in conditions of limited resource, network], *Materialy Devyatoy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Perspektivnye sistemy i zadachi upravleniya" i Chetvertoy molodezhnoy shkoly-seminara "Upravlenie i obrabotka informacii v tekhnicheskikh sistemakh"* [Materials of the Ninth all-Russian scientific-practical conference "Advanced systems and control problems" and the Fourth youth school-seminar "Management and processing of information in technical systems"]. Taganrog: Izd-vo YuFU, 2014, pp. 459-472.

11. *Network Working Group*. RFC 5371. RTP Payload Format for JPEG 2000 Video Streams. Vved. 2008-10.01. The Internet Security (IETF), 2006, 31 p.
12. *Network Working Group*. RFC:2327. SDP: Session Description Protocol. Vved. 1998-04-01. Cambridge: Information Sciences Institute, 1998, 42 p.
13. *Network Working Group*. RFC:2974. Session Announcement Protocol. Vved. 2000-10-01. Marina del Rey: Information Sciences Institute, 2000, 18 p.
14. *The JPEG2000 Suite* / Ed. by P. Schelkens, A. Skodras, T. Ebrahimi. – John Wiley & Sons Ltd, 2009, 533 p.
15. STANAG 4609/AEDP-8. NATO Digital Motion Imagery Format. Available at: www.nato.int/structur/AC/224/standard/4609/4609.htm.
16. Unmanned aerial vehicles roadmap 2002-2027 (UAV Roadmap). Office of the Secretary of Defence. 2003, 208 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.П. Карелин.

Дроздов Сергей Николаевич – Южный федеральный университет; e-mail: drozdilla@gmail.com; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371746; кафедра математического обеспечения и применения ЭВМ; к.т.н.; доцент.

Жиглатый Артемий Александрович – e-mail: levitron@rambler.ru; кафедра математического обеспечения и применения ЭВМ; ассистент.

Сороход Сергей Васильевич – e-mail: sss64@mail.ru; кафедра математического обеспечения и применения ЭВМ; к.т.н.; доцент

Хусайнов Наиль Шавкятovich – e-mail: khusainov@sfedu.ru; кафедра математического обеспечения и применения ЭВМ; к.т.н.; доцент.

Кравченко Павел Павлович – e-mail: kravchenkopp@sfedu.ru; тел.: 88634314945; кафедра математического обеспечения и применения ЭВМ; д.т.н.; профессор.

Drozdov Sergey Nikolaevich – Southern Federal University; e-mail: drozdilla@gmail.com; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371746; the department of software engineering; cand. of eng. sc.; associate professor.

Zhiglaty Artemy Alexandrovich – e-mail: levitron@rambler.ru; the department of software engineering; assistant.

Skorokhod Sergey Vasilievitch – e-mail: sss64@mail.ru; the department of software engineering; cand. of eng. sc.; associate professor.

Khusainov Nail' Shavkyatovich – e-mail: khusainov@sfedu.ru; the department of software engineering; cand. of eng. sc.; associate professor.

Kravchenko Pavel Pavlovich – e-mail: kravchenkopp@sfedu.ru; phone: +78634314945; the department of software engineering; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 004.42

А.И. Костюк, М.Ю. Поленов, В.А. Лукьянов, Е.Р. Мунтян

МОДЕЛЬ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ SMART HOUSE С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИПЕРВИЗОРА

Рассмотрена модель управления системой smart house («умный дом»), цель разработки которой заключалась в централизации всей системы и упрощении процесса ее установки и настройки. На основе анализа общих проблем существующих smart house систем авторами было предложено решение с использованием гипервизора, а также были рассмотрены варианты сокращения затрат при реализации данного решения. Было проведено эксперименталь-