

11. Kalmyikov I.A., Chipiga A.F., Kihthenko O.A., Barilskaya A.V. Kriptograficheskaya zaschita dannykh v informatsionnykh tehnologiyah na baze nepozitsionnykh polinomialnykh system [Cryptographic protection of data in information technology on base nepozitsionnykh polynomial systems]. *Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Tehnicheskie nauki – Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2009, no. 11, pp. 210-220.
12. Kalmyikov I.A., Chipiga A.A. Algoritm obespecheniya informatsionnoy skryitnosti dlya adaptivnykh sredstv peredachi informatsii [Algorithm for information secrecy providing for adaptive data transfer facilities]. *Infokommunikatsionnye tehnologii*, 2007, vol. 5, no. 3, pp. 159-162.
13. Gapochkin A.V., Kalmyikov M.I., Vasilev P.S. Obnaruzhenie i korrektsiya oshibki na osnove vyichisleniya intervalnogo nomera koda klassov vyichetov [Error correction in modular code based parallel algorithms trail]. *Sovremennyye naukoymkie tehnologii*, 2014, no. 6, pp. 9-14.
14. Barsagaev A.A., Kalmyikov M.I. Algoritmy obnaruzheniya i korrektsii oshibok v modulyarnykh polinomialnykh kodakh [Algorithms of detection and correction of errors in modular polynomial codes]. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimentalnogo obrazovaniya*, 2014, no. 3, pp. 103-107.
15. Kalmyikov I.A., Rezenkov D.N., Gordenko D.V., Sarkisov A.B. *Metody i algoritmy rekonfiguratsii nepozitsionnykh vyichislitelnykh struktur dlya obespecheniya otkazoustoychivosti spetsprocessorov* [Methods and algorithms of nonpositional reconfiguration computational structures to provide fault tolerance of special processors]. Stavropol, Fabula Publ., 2014. 180 p.
16. Kalmyikov I.A. Metod perescheta koeffitsientov obobschennoy poliadicheskoy sistemy dlya spetsprocessorov s degradiruemoy strukturoy [Coefficients recalculation method for the polyadic-generalized system of special processors with degradable structure]. *Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Tehnicheskie nauki – Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2005, no. 4, pp. 35-42.
17. Strizhkov N.S., Kalmyikov M.I. Algoritm preobrazovaniya iz modulyarnogo koda v poliadicheskuyu sistemu osnovaniy dlya sistem obnaruzheniya i korrektsii oshibok [Algorithm for converting from the modular code the polyadic system bases for systems error detection and correction]. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimentalnogo obrazovaniya*, 2014, no. 3, pp. 127-132.

Received 20.01.2015

УДК 621.397

КОДИРУЮЩЕЕ И ДЕКОДИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ ONM ДЛЯ СЖАТИЯ ЦИФРОВОГО ПОТОКА ВИДЕОДАНЫХ

Безруков В.Н.¹, Балобанов А.В.¹, Балобанов В.Г.²

¹Московский технический университет связи и информатики, Москва, РФ

²Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: balobanov@tvpsati.ru

В работе рассматривается способ сжатия цифрового потока видеосигнала в телевизионном канале связи и вопросы практической реализации системы ONM, приводятся схемы кодирующего и декодирующего устройств. Дается описание их работы и сравнительный анализ с существующими системами сжатия MPEG. Предлагаются методы, повышающие эффективность сжатия цифрового потока в телевизионном канале связи.

Ключевые слова: квантователь, предсказатель, энтропийное кодирование, определитель движения, мультиплексор, прореживание, сумматор.

Введение

В работе [1] рассмотрены основные принципы способа сжатия видеоданных в системе ONM [2]. В предложенном способе последовательность полей (полукадров) делится на группы. В группе есть поля трех типов: О-поля – изображения, играющие роль опорных при восстановлении

других изображений. Предсказание для них не формируется, используют внутрислоево кодирование; N-четные поля – изображения, кодируемые путем предсказания на основе предыдущего поля, используют межслоево кодирование, в результате которого образуется межстрочная разность двух соседних строк нечетного и четного полей; M-нечетные поля – кодируемые с предска-

занием на основе предыдущего нечетного поля из другого кадра.

Изображения М-полей содержат в основном высокочастотные составляющие, отражают межкадровую разность в пределах нечетных полей соседних кадров. При передаче малоподвижных объектов в изображениях М-полей сигнал практически равен нулю, а сигнал от N-полей отличен от нуля. Для повышения эффективности сжатия цифрового потока для неподвижных и малоподвижных изображений в системе ONM возможно кадровое кодирование путем объединения нечетных и четных полей в один кадр перед кодером.

При этом возможны три варианта передачи полей в группе кадров:

- первый вариант: (O, N); (M,N); (M,N) ... (O, N); (M,N); (M,N) ... ;

- второй вариант: перестановка местами нечетных и четных полей в каждой группе кадров для улучшения четкости изображения: в первой группе: (O, N); (M,N); (M,N) ...; во второй группе: (N,O); (N,M); (N,M) ... и т.д.;

- третий вариант: перестановка местами нечетных и четных полей во всей видеопоследовательности кадров: (O,N); (N,M); (M,N); (N,M) ... (N,O); (M,N); (N,M); (M,N) и т.д.

Такая перестановка полей в силу особенностей зрительного восприятия приводит к существенному повышению четкости изображения в целом, то есть происходит образование опорного кадра (O,N) + (N,O), который определяет качество телевизионного (ТВ) изображения в целом [3]. В приемнике, естественно, должна быть восстановлена исходная очередность следования полей.

Кодирующее устройство системы ONM

Возможны различные схемные решения, обеспечивающие такое сокращение цифрового потока в канале связи. Рассмотрим реализацию способа на примере устройства, изображенного на рис. 1. Кратко рассмотрим работу кодирующего устройства.

Структурная схема кодера (см. рис.1) отображает лишь основные операции, выполняемые при кодировании и обеспечивающие получение выходного потока данных с требуемыми параметрами. В кодере реализуются два режима кодирования: внутрикадровое и межкадровое с предсказанием и компенсацией движения.

Входной видеосигнал с ИКМ поступает на блок предварительной обработки сигналов (БПО). В БПО сигналов осуществляются следующие преобразования:

- изображение достраивается до кратного 16 числа элементов (пикселей) по строкам и столбцам;

- перестановка местами нечетных и четных полей в видеопоследовательности кадров;

- изображение разбивается на последовательность макроблоков, каждый из которых состоит из четырех блоков 8×8 элементов, несущих информацию о яркости.

Аналогичные преобразования осуществляются и с сигналами цветности в формате 4:2:0. Далее в блоках 2- 5 и 8 происходит образование опорных и разностных сигналов O, M и N.

Управляющие сигналы U_1 , U_2 , U_5 (см. рис. 1 и [1]) координируют работу названных блоков. В блоке 9 осуществляется передискретизация (прореживание) сигналов N-полей в горизонтальном и вертикальном направлениях (см. рис. 3). Все макроблоки O-полей кодируются в режиме внутривидеоплевого кодирования. С этой целью входной сигнал ИКМ поступает на блок ДКП по верхнему каналу.

В ДКП 6 и 10 происходит преобразование матриц значений сигналов $f_{(x,y)}$ в матрицы коэффициентов Фурье $F_{(m,n)}$. В квантователе происходит кодирование коэффициентов ДКП в соответствии с формулой [2]:

$$C_q(m,n) = \text{Round} \left(\frac{C(m,n)}{\rho \cdot Q(m,n)} \right), \quad (1)$$

где $Q(m,n)$ – коэффициенты квантования, задаваемые в виде таблицы из 8×8 целых чисел (см. таблицу 1, параметр Q); ρ – параметр, определяющий степень сжатия изображения; Round – операция округления до ближайшего целого значения; $C_q(m,n)$ – полученные в результате данной операции квантованные коэффициенты ДКП, которые могут быть как положительными, так и отрицательными [2].

Квантование полученной после ДКП матрицы коэффициентов производится с учетом чувствительности глаза к различным пространственным частотам, причем при передаче более ВЧ компонентов возможна большая погрешность, то есть их можно квантовать на меньшее число уровней. Для крупных деталей коэффициенты ДКП квантуются на большее число уровней.

В результате выполнения операций деления и округления многие коэффициенты ДКП становятся равными нулю. Именно квантование создает возможность уменьшения числа двоичных символов, необходимых для представления информации о коэффициентах ДКП, то есть сжатия

Оценка движения ОД (18) осуществляется путем сравнения текущего изображения, поступающего на вход кодера, с изображением, находящимся в ЗУ (19) и используемым для предсказания. Через блок 16 на вход ОД (18) поступают сигналы О- и М-полей.

Предсказатель в системе не просто память для хранения предшествующих полей (кадров), но и устройство, которое при формировании предсказания отыскивает из массива данных, находящихся в его памяти, блок, согласованный с блоками текущего кадра. Для этого в предсказатель заводятся данные о векторах движения. Сигнал предсказания также подвергается энтропийному кодированию (блок 23) и мультиплексируется (блок 24) в общий цифровой поток с коэффициентами ДКП. Основные цифровые потоки О, М, N с выходов блоков 21 и 22 мультиплексируются (см. блок 24) в один поток. В общий цифровой поток мультиплексируются сигналы с выхода определителя векторов движения ОД (18). В блоках 21; 22 и 23 осуществляется дополнительное сокращение цифрового потока.

Общий цифровой поток после мультиплексора M_{Π} (24) поступает на вход буферного запоминающего устройства (БЗУ) (26), работающего по принципу: «первым вошел – первым вышел». Необходимость введения в систему БЗУ объясняется следующими обстоятельствами. В зависимости от детальности движения и характера передаваемого движения в существенной степени может меняться скорость цифрового потока на выходе блоков кодирования 21-23 с переменной длиной. При возрастании в изображении уровня высокочастотных компонентов, при быстро меняющихся сюжетах скорость потока данных на выходе компрессора возрастает. Это возрастание может приводить к превышению возможностей канала передачи по его пропускной способности. Ограничение скорости кодированного цифрового потока осуществляется реализацией обратной связи, в которую включена буферная память 26 и квантователи 7 и 11.

Сущность действия обратной связи (ОС) заключается в следующем. Если передается мелкоструктурное изображение и заполнение БЗУ увеличивается (память переполняется), то под воздействием ОС увеличивается параметр квантования ρ коэффициентов ДКП (формула 1). При этом число бит на каждый коэффициент уменьшается, и уровень потока данных поддерживается примерно постоянным. Наоборот, при передаче «гладких» изображений квантование становится более точным (параметр ρ в форму-

ле (1) уменьшается, а коэффициенты после квантования c_q – увеличиваются). Такой метод соответствует свойствам человеческого зрения: на мелкоструктурных изображениях менее заметны неточности в пределах уровней яркости. Конечно, изменение масштаба квантования в зависимости от содержания изображения отражается на качестве воспроизводимого изображения, изменяется уровень шумов квантования. Включенное в цепь обратной связи устройство управления коэффициентом сжатия УКС 25 повышает ее быстродействие. В результате благодаря действию обратной связи степень заполнения буферной памяти (блок БЗУ) в среднем поддерживается постоянной. В декодере (см. рис. 2) восстанавливается исходная скорость потока

Прореживание отсчетов по сравнению с общеизвестными имеет свои особенности, которые улучшают визуальную четкость изображения N-полей (см. рис. 3):

- в 2; 6; 10 ... $(4n - 2)$ N-полях передаются только 2; 6; 10 ... $(4z - 2)$ строки с половинным количеством отсчетов: (2; 4; 6; 8 ... – передача; 1; 3; 5; 7; 9 ... – прореживание, см. рис.3в). Информация в 4; 8; 12 ... строках не передается;

- в 4; 8; 12 ... $(4n)$ N-полях передаются строки с номерами (см. рис.3г): 4; 8; 12 ... $4z$, а информация в 2,6,10,... строках не передается, здесь n и z – порядковые номера: 1, 2, 3 ...).

Такой порядок прореживания отсчетов в N-полях повышает визуальную четкость N-полей до исходной, так как создается полноценный N-полукадр (поле) из двух смежных полей при использовании первого варианта перестановки полей. Следует отметить, что в результате прореживания N-полей ортогональная структура отсчетов сохраняется, что весьма важно для ДКП. Для повышения качества изображения четных полей прореживание отсчетов по вертикали можно не проводить (второй вариант).

Декодирующее устройство системы ONM

Декодирующее устройство (см. рис. 3) осуществляет обратный процесс преобразования видеосигнала из цифровой формы в аналоговую. Блок БЗУ 1 на входе декодера выполняет функцию согласования постоянной скорости передачи двоичных символов во входном потоке данных с процессами в декодере, то есть восстанавливается исходная скорость цифрового потока кодера без учета регулировки УКС (см. рис.1). С выхода буферного запоминающего устройства кодированные данные изображения и значения

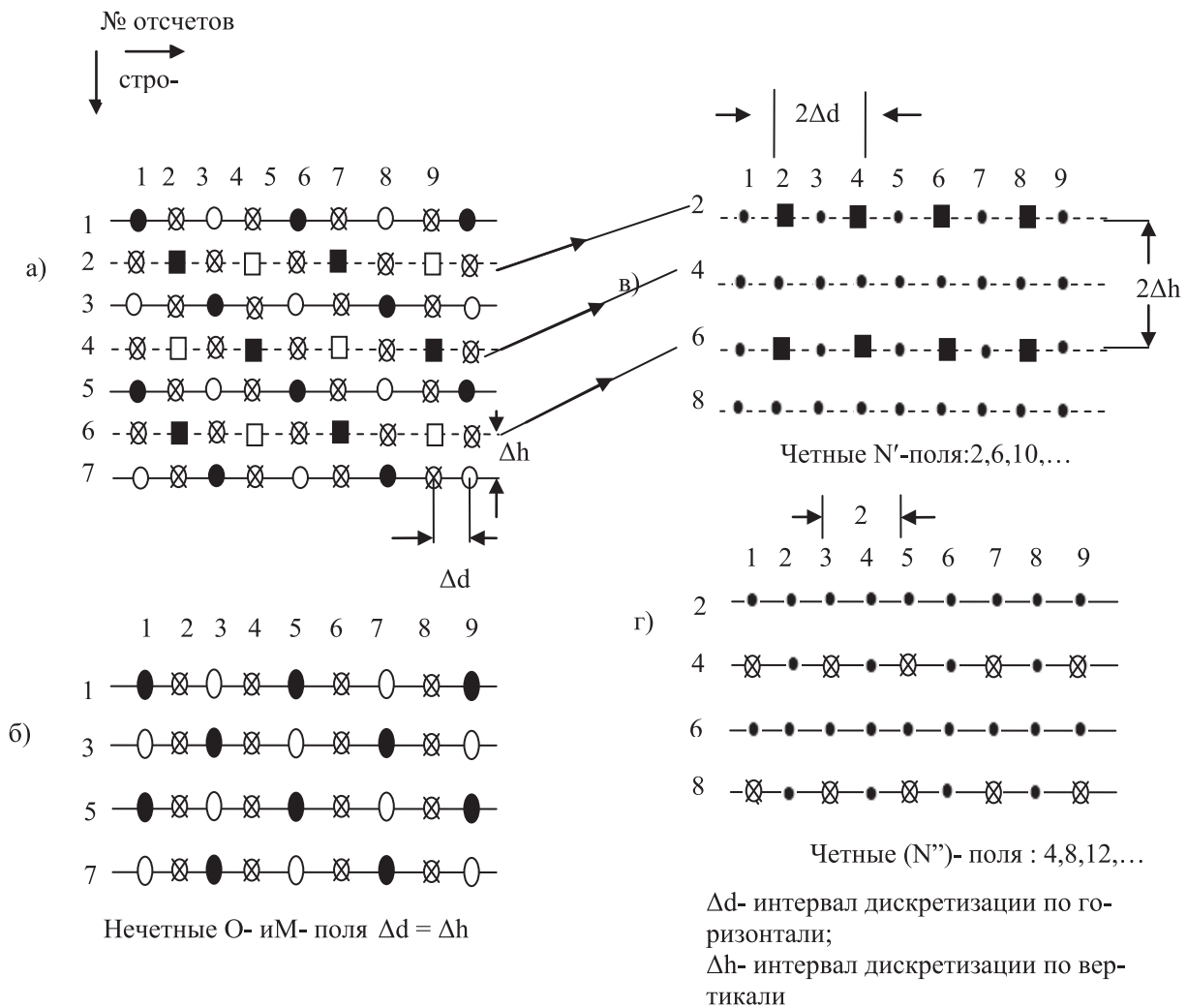


Рис.3. Структура дискретизации раstra: а) исходный кадр; б) нечетные О- и М-поля; в) четные N-поля: 2, 6, 10; г) четные N-поля: 4, 8, 12

параметров квантования поступают на блоки декодирования энтропийного кода 3, 6 и далее на деквантователи (Kv^{-1}) 4, 7, а сигналы векторов движения поступают на блок декодирования энтропийного кода 10 и предсказатель 12. В результате выполненных преобразований на выходе электронного коммутатора ЭК 17 получаем исходную последовательность О-, N- и М-полей с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ).

Рассмотрим более подробно процесс образования исходных сигналов О-, М- и N-полей. Цифровой сигнал с выхода блока ДКП⁻¹ 5 содержит опорный сигнал О-полей, передаваемый с внутрикадровым кодированием, и разностный сигнал М-полей (межкадровая разность двух нечетных полей соседних кадров). Во втором канале, кроме декодирования энтропийного кода, деквантования и обратного ДКП 8, в сигнале N происходит восстановление (интерполяция) пропущенных отсчетов в блоке 9. Восстановление

ИКМ в сигналах N и M происходит следующим образом.

При появлении сигнала О на выходе ДКП⁻¹ 5 электронный коммутатор 17 пропускает сигнал «О» на выход схемы (положение 1 переключателя). Одновременно сигнал «О» через сумматор 11 поступает на предсказатель 14 (запоминающее устройство 3У на время одного поля и полстроки) и через схему «И» 13 на предсказатель 12 с компенсацией движения. При появлении сигнала N в сумматоре 15 происходит сложение его с задержанным опорным О-сигналом и образование ИКМ сигнала N, который через блок 16 поступает через ЭК 17 на выход схемы (переключатель в положение 2).

Сигнал М поступает на сумматор 11, где происходит его сложение с задержанным на $\tau_3 = 2T_{\text{П}}$ опорным сигналом «О». С выхода сумматора 11 восстановленный М-сигнал с ИКМ через блок 16 поступает через ЭК 17 (переключатель в по-

ложение 2) на выход схемы. Таким образом, все три сигнала (О, N и М) с ИКМ, пройдя в блоке 18 обратную перестановку полей, приобретают исходную очередность следования полей О, N, М и могут быть поданы на блок ЦАП (на схеме не показан).

Выводы

1. Известные способы сжатия цифрового потока MPEG-2, MPEG-4, вейвлет-преобразование сложнее предложенного способа [3] в смысле технической реализации, поэтому ограничены в своем применении. В MPEG невозможна перестановка полей для повышения визуальной четкости: в предполагаемом способе поля с высокой и пониженной четкостью меняются местами. Это создает виртуальный полноценный кадр. Качество изображения в предложенном способе выше, чем в MPEG-2, благодаря перестановке соседних полей в видеопоследовательности кадров. При нечетном числе полей в группе кадров такая перестановка осуществляется автоматически.

2. Дополнительное прореживание отсчетов в рассмотренном случае повышает эффективность системы в сокращении цифрового потока более чем в два раза. В MPEG такая возможность отсутствует.

3. Значительно более сильные, по сравнению с прототипом, корреляционные связи между сравниваемыми элементами обеспечивают эффективное устранение избыточности из ТВ сообщений и делают систему перспективной при ее модернизации.

Безруков Вадим Николаевич, д.т.н., профессор Кафедры телевидения и звукового вещания (ТВ и ЗВ) Московского технического университета связи и информатики (МТУСИ). Тел. (8-495) 957-77-08. E-mail: cdtv@mail.ru

Балобанов Андрей Владимирович, к.т.н., старший преподаватель кафедры ТВ и ЗВ МТУСИ. Тел. (8-495) 957-77-08. E-mail: andrey_sam@mail.ru

Балобанов Владимир Григорьевич, к.т.н., доцент Кафедры радиосвязи, радиовещания и телевидения Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Тел. (8-846) 336-87-01; E-mail: balobanov@tv.psati.ru

4. Преимуществом данного предложения является улучшение качества изображения при относительно более простой схемной его реализации, что имеет не только экономический, но и социальный эффект, так как может найти широкое применение во многих областях цифрового телевидения.

5. Для повышения эффективности сжатия цифрового потока для неподвижных и малоподвижных изображений в системе ONM возможно также и кадровое кодирование.

Литература

1. Балобанов А.В., Балобанов В. Г., Безруков В.Н.. Сжатие цифрового потока видеосигнала в телевизионном канале связи // ИКТ. Т.12, №3, 2013. – С.60-64.
2. Смирнов А.В., Пескин А.Е. Цифровое телевидение: от теории к практике. М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 352 с.
3. Балобанов В.Г., Безруков В.Н., Балобанов А.В. Способ сжатия цифрового потока в телевизионном канале связи. Патент RU № 2467499, БИ №32, 2012.
4. Катаев С.И., Хромой Б.П., Безруков В.Н., Балобанов В.Г. Способ передачи двух программ черно-белого телевидения. А.с. СССР № 301875. БИ №14, 1971.

Поступило 25.02.2015

ONM SYSTEM CODING AND DECODING DEVICE FOR DIGITAL VIDEO DATA STREAM COMPRESSION

Bezrukov V.N.¹, Balobanov A.V.¹, Balobanov V.G.²

¹*Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russian Federation*

²*Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation*

E-mail: balobanov@tv.psati.ru

We present method for digital video data stream compression over television channel for ONM system. Proposed method is based on researching of psychophysical features of human vision. This approach provides better results for visual quality in comparison to conventional standard MPEG-2. Here we divide sequence of fields (half-frames) into 3 groups. There are 3 types of fields in each group. O-fields are image field, which is

base during reconstruction of other images. O-fields use intra-field coding, and predictions for O-fields are not formed. N-even-fields are images coded by prediction based on the previous field. N-fields utilize intra-field coding that produces line difference of two neighbor lines of even and odd fields. M-odd-fields are coded under prediction based on previous odd-field from other frame. Even and odd fields are replaced together over all video or frame of group to improve visual quality of image. That provides to frames with higher resolution and improving of image quality. This work also discusses practical realization of ONM system, coding scheme and decoding devices. We present their detailed descriptions and comparison analysis of known systems based on MPEG-compression together with methods for improving of compression effectiveness for digital video data stream over television channel.

Keywords: quantizer, predictor, entropy coding, multiplexer, decimation, adder.

DOI: 10.18469/ikt.2015.13.2.12.

Bezrykov Vadim Nicolaevich, Doctor of Technical Science, Professor of the Department of Television and Sound-broadcasting, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 495 957 77 08. E-mail: cdtv@mail.ru

Balobanov Andrey Vladimirovich, PhD in Technical Science, Assistant professor of the Department of Television and Sound-broadcasting, Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 495 957 77 08. E-mail: andrey_sam@mail.ru.

Balobanov Vladimir Grigorjevich, PhD in Technical Science, Associated Professor of the Department of Radiocommunication, Broadcasting and Television, Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel.: +7 846 3368701. E-mail: balobanov@tv.psati.ru.

References

1. Balobanov A.V., Balobanov V.G., Bezrukov V.N. Szhatie tsifrovogo potoka videosignala v televizionnom kanaley svyazi [Compression of digital video stream in a television communication channel]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2013, vol.11, no. 3, pp. 60-64.
2. Smirnov A.V., Peskin A.E. *Tsifrovoe televidenie* [Digital TV - from theory to practice]. Moscow, Hotline – Telecom Publ., 2005. 352 p.
3. Balobanov V.G., Bezrukov V.N., Balobanov A.V. *Sposob szhatiya tsifrovogo potoka v televizionnom kanale svyazi* [Method of compression in the television digital stream communication channel]. Patent RF, no. 2467499, 2012.
4. Kataev S.I., Hromoi B.P., Bezrukov V.N., Balobanov V.G. *Sposob peredachi dvuh programm cherno-belogo televideniya* [Method of transmitting two programs in black and white television]. Copyright certificate RF, no. 301875, 1971.

Received 25.02.2015

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 54.061

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФУНКЦИИ РАЗМЫТИЯ ТОЧКИ В ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАТУР ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ТЕРАГЕРЦЕВОМ ДИАПАЗОНЕ

Березовский А.А.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: andrey.berezowskiy@gmail.com

В работе показано, как, используя следующую из схемы формирования терагерцевого изображения зависимость функции рассеяния точки (ФРТ) произвольного химического вещества от его спектра поглощения, идентифицировать это вещество только по зарегистрированному сенсором изображению. Для этого описана система формирования изображения в ТГц диапазоне, и для этой системы получена зависимость ФРТ изображения от сигнатуры вещества в предположении сильной дефокусировки. Предложен способ оценки ФРТ по искаженному изображению и метод обнаружения сигнатуры. В рамках