

Телевизионные системы, передача и обработка изображений

УДК 621.397

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Здоровцов Анатолий Геннадьевич

начальник учебной лаборатории (Устройства инженерно-технических средств охраны)
кафедры инженерно-технических средств охраны Пермского военного института
войск национальной гвардии Российской Федерации.
E-mail: ZdorovtsovAG@list.ru.

Адрес: 614112, Пермь, ул. Гремячий лог, 1.

Аннотация: Рассматривается вопрос реализации методов оптической обработки информации в корреляционно-экстремальных оптических измерительных системах. Реализуется решение проблемы точного бесконтактного измерения параметров движения объектов, перемещающихся относительно поверхности земли или иной информативной среды. Используется метод кодирования и восстановления изображения, основанный на ортогональных преобразованиях, в результате которого получается спектр двумерных базисных функций. Путём решения проблемы является использование преобразование Адамара, на базе которого, в частности, предложена схема адамаровского спектроанализатора. Использование обратного преобразования трансформанты, которое требует выполнения таких операций, как согласование по фазе суммирования перемноженных на базисные функции значений трансформанты для каждого элемента изображения. Метод позволяет не только разложить изображение в спектр двумерных базисных функций, но и эффективно и сравнительно просто реализовать функцию восстановления изображения по компонентам спектра.

Ключевые слова: параметры движения, изображение, базисная функция, корреляционно-измерительные системы, кодирование, ортогональные преобразования.

Среди известных методов кодирования изображений [1] наибольший интерес представляет метод, основанный на ортогональных преобразованиях, в результате которых получается спектр двумерных базисных функций. В этом случае спектр используется для передачи и хранения изображения, что существенно снижает требования к пропускной способности каналов связи и объёму оперативной памяти, обеспечивающей эти каналы [2]. Метод хорошо реализуется средствами оптико-электронного анализа изображения. Это позволяет построить систему кодирования и восстановления изображения на оптоэлектронной элементной базе.

В настоящее время существует много способов разложения изображения на некоторой системе ортогональных функций. Их теоретическая основа разработана достаточно давно

[3]. С точки зрения практической реализации наиболее простым является преобразование Адамара, на базе которого, в частности, в работе [4] предложена схема адамаровского спектроанализатора. В основе метода лежит преобразование исходного фрагмента изображения X в трансформанту Y , элементы которой получены путём ортогонального преобразования изображения. Наиболее исследованными преобразованиями, которые используются в этих целях, являются преобразования Фурье, преобразование Карунена-Лоэва, преобразование Адамара [5]. Последнее наиболее просто реализуется оптическим путём и является энергетически полным преобразованием. Однако, метод не нашёл практического применения в связи с обстоятельством, которое на первый взгляд невозможно обойти. На оптических элементах легко реализуется операция разло-

жения изображения на элементы трансформанты. Для этого могут быть использованы как параллельные, так последовательные схемы оптико-электронных анализаторов. А вот для синтеза изображения необходимо, в соответствии с алгоритмом, предложенным в работе [4], произвести обратное преобразование трансформанты, которое требует выполнения таких операций, как согласование по фазе суммирования перемноженных на базисные функции значений трансформанты для каждого элемента изображения. Сложности технического решения этой задачи делают сомнительными достоинства метода кодирования видеоданных на основе спектрального разложения [6].

В этой связи возникает задача разработки эффективных способов сжатия видеоданных. Предлагается достаточно простой метод ортогональных преобразований изображения, позволяющий исключить из обратного преобразования операцию суммирования компонент спектра.

В рамках метода спектрального разложения видеоданных по ортогональным базисным функциям, изображение можно представить в виде выражения

$$F(x,y) = \prod_{i=0}^n [I_i(x,y)]^{a_i}, \quad (1)$$

где $F(x,y)$ – функция яркости изображения в точке x, y ; $I_i(x,y)$ – произвольная функция двух аргументов, удовлетворяющих условию

$$\iint_S \log_c I_i(x,y) \log_c I_j(x,y) dx dy = 0, \quad i \neq j,$$

причём $i, j = 0, 1, \dots, n$; a_i – коэффициент разложения; n – порядок матрицы трансформанты.

Если прологарифмировать по основанию C левую и правую части выражения (1), получим

$$\log_c F(x,y) = \sum_{i=0}^n a_i \log_c I_i(x,y). \quad (2)$$

При выполнении условия ортогональности функций $\log_c I_i(x,y)$ коэффициенты a_i в выражении (2) можно записать в виде соотношения

$$a_i = \frac{\iint_S \log_c F(x,y) \log_c I_i(x,y) dx dy}{\iint_S [\log_c I_i(x,y)]^2 dx dy}. \quad (3)$$

Обозначим в выражении (3) функции $\log_c F(x,y)$ и $\log_c I_i(x,y)$ через $f(x,y)$ и $\varphi_i(x,y)$ соответственно:

$$f(x,y) = \log_c F(x,y), \quad \varphi_i(x,y) = \log_c I_i(x,y).$$

После подстановки принятых обозначений, выражение (3) можно записать следующим образом:

$$a_i = \frac{\iint_S f(x,y) \varphi_i(x,y) dx dy}{\iint_S \varphi_i^2(x,y) dx dy}. \quad (4)$$

В связи с тем, что условие ортогональности выполняется только для знакопеременных функций, а оптическими методами можно реализовать только положительную функцию [7], целесообразно воспользоваться представлением базисных функций в виде смещённых функций

$$i(x,y) = \frac{i(x,y)+A}{2} \cdot \frac{A i(x,y)}{2}. \quad (5)$$

Смещённые функции $\frac{i(x,y)+A}{2}$, $\frac{A i(x,y)}{2}$ обозначим через $G_i(x,y)$ и $D_i(x,y)$ соответственно.

Представление (5) перепишем, подставив в него принятые обозначения

$$\varphi_i(x,y) = G_i(x,y) + D_i(x,y). \quad (6)$$

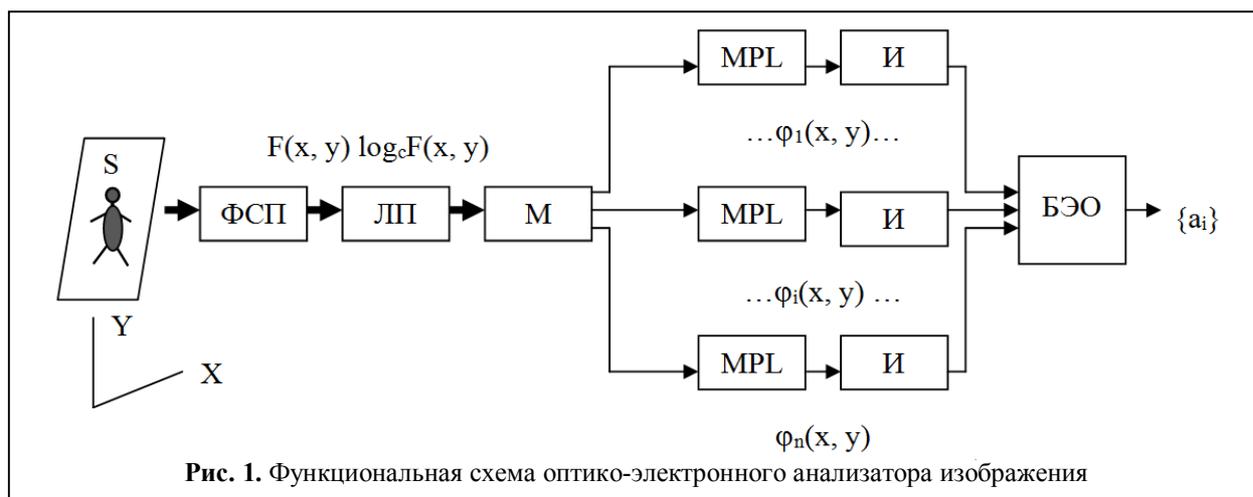
Смещённые функции удобно задать таким образом, чтобы выполнялось условие: $A = \max \varphi_i(x,y)$.

С учётом представления (6) перепишем выражение (4):

$$a_i = \frac{\iint_S G_i(x,y) f(x,y) \iint_S D_i(x,y) f(x,y) dx dy}{\iint_S [G_i(x,y) + D_i(x,y)]^2 dx dy}. \quad (7)$$

Следовательно, $a_i = a_{i1} - a_{i2}$, причём

$$a_{i1} = \frac{\iint_S G_i(x,y) f(x,y) dx dy}{\iint_S [G_i(x,y) + D_i(x,y)]^2 dx dy};$$



$$a_{i2} = \frac{\iint_s D_i(x,y)f(x,y)dx dy}{\iint_s [G_i(x,y)+D_i(x,y)]^2 dx dy}$$

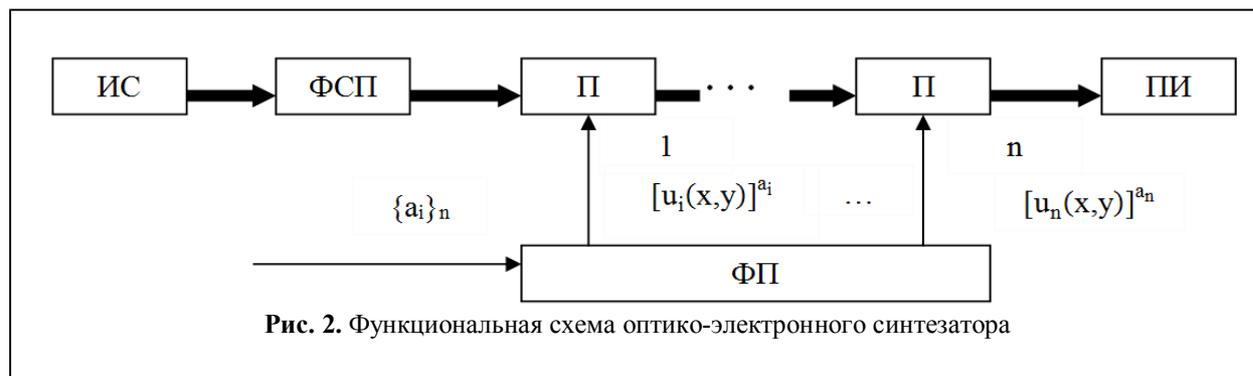
Следует отметить, что в случае дискретного преобразования Адамара переходу от дискретной функции $\varphi_i(x,y)$ со значением «+1» к дискретной функции $\varphi_i(x,y)$ со значением «-1» будет соответствовать переход «позитив-негатив» в оптической схеме, реализующей эту операцию [8]. В общем случае анализатор изображения может быть построен по схеме, показанной на рис. 1.

Этот анализатор принципиально отличается от предложенного в работе [4] наличием логарифмического преобразователя изображения ЛП.

Схема синтезатора (рис. 2) реализует алгоритм, в основе которого лежит выражение (1).

Источником излучения в синтезаторе служит оптический квантовый генератор. Пучок когерентного света расширяется в ФСП (коллиматоре), пропускается через n транспаран-

тов-перемножителей, на которых записаны функции $[u_i(x,y)]^{a_i}$, и поступает на приёмник изображения. Техническая реализация опто-электронных устройств анализа и синтеза изображения не встретит, на наш взгляд, принципиальных затруднений. Логарифмический преобразователь светового потока может быть выполнен в виде экрана из фотохромного материала, коэффициент пропускания которого пропорционален логарифму интенсивности падающего на него света. Подобное устройство может работать в реальном масштабе времени [9, 10]. Методы мультипликации изображений также неплохо разработаны. В качестве мультипликаторов можно использовать дифракционные решётки, голограммы, линзовые растры. Базисные функции $\varphi_i(x,y)$ могут быть синтезированы посредством пространственных модуляторов света. При этом вычисление выражения $\iint_s [i(x,y)]^2 dx dy$ в (7) при оценке значений коэффициентов a_i трудностей не представляет. При необходимости эта операция



может быть реализована специальной маской $[i(x,y)]^2$. На каждой из масок записана одна из анализирующих функций $\varphi_i(x,y)$. Очевидно, что в этом случае для формирования i -го коэффициента в анализаторе нужно две маски, а для восстановления i -ой составляющей изображения (1) в синтезаторе с учётом знаков функции $\varphi_i(x,y)$ и коэффициента a_i – два транспаранта (негативный и позитивный).

Таким образом, сущность, предлагаемого в оптико-цифровых системах обработки изображений, метода состоит в следующем. В анализаторе изображение описывается набором оптически формируемых линейных признаков (коэффициентов разложения по некоторому двумерному ортогональному базису), эти признаки оцифровываются и подвергаются заданному преобразованию (обработке), затем вновь поступают в оптическую систему (синтезатор), где по ним формируется выходное изображение. Приведённый метод кодирования и восстановления изображения, основанный на ортогональных преобразованиях, позволяет не только разложить изображение в спектр двумерных базисных функций, но и эффективно и сравнительно просто реализовать функцию восстановления изображения по компонентам спектра. Предлагаемый способ может найти применение в гибридных оптико-электронных системах распознавания изображения, в частности в корреляционно-экстремальных изме-

рителях параметров движения объекта систем охранного мониторинга.

Литература

1. Джайн А. Сжатие видеоинформации: Обзор // ТИИЭР. 1981. Т. 69. № 3. С. 71–117.
2. Красильников Н.Н. Теория передачи и восприятия изображений и её приложения. М.: Радио и связь, 1986. 246 с.
3. Ахмед Н., Рао К. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. Пер. с англ. М.: Связь, 1980. 248 с.
4. Берковская К.Ф. Возможности реализации адамаровского спектроанализатора. В кн.: Оптическая обработка информации. Л.: Наука, 1978.
5. Петраков А.В. Телевидение предельных возможностей. М.: Знание (серия «Радиоэлектроника и связь»), 1991. № 3. 64 с.
6. Горохов В.П., Каночкин В.А., Петраков А.В. Импульсные телевизионные системы // Материалы Международного форума информатизации МФИ-2005 (отделение «Информатика и связь»). М.: Инсвязьиздат, 2005. С. 261.
7. Петраков А.В. Автоматические телевизионные комплексы для регистрации быстротекающих процессов. М.: Энергоатомиздат, 1987. 152 с.
8. Акаев А.А., Майоров С.А. Когерентные оптические вычислительные машины. Л.: Машиностроение, 1977. 440 с.
9. ГОСТ Р 51558. Системы охраняемые телевизионные. Общие технические условия и методы испытаний. М.: Издательство стандартов, 2014. 27 с.
10. Куранов Е.Ф., Петраков А.В. Вероятность опознавания телевизионными системами контроля // Техника кино и телевидения. 1982. № 2. С. 42–45.

Поступила 21 февраля 2019 г.

English

METHOD IMPLEMENTATION OF OPTICAL INFORMATION PROCESSING IN CORRELATION-EXTREME OPTICAL MEASURING SYSTEMS

Anatoly Gennadievich Zdorovtsov – Head of Training Laboratory (Devices of technical security equipment), Department of Technical Security Equipment, Perm Military Institute of the National Guard of the Russian Federation.

E-mail: ZdorovtsovAG@list.ru

Address: 614112, Perm, Gremyachy log str., 1.

Abstract: Issues of accurate non-contact measuring motion parameters of objects moving relative to the earth's surface or other information medium are always relevant. This is the case of security monitoring systems. Measurement systems for coordinates and motion object parameters are developed and upgraded for this pur-

pose. The trend concerned with the recognition of image patterns is gaining more and more firm positions in measurement-related scientific research of motion parameters in correlation-measurement systems. For instance, measurement methods for the angular and linear velocity of objects, as well as methods to define their coordinates based on holographic matched filtering and correlation-extreme systems are developed within this research trend. The solution of these and similar problems is often confined to the problem of compressing and encoding the signal in digital image processing, which is inevitable in measurement systems of motion parameters. Optical methods become of great importance in solving this problem as they have a high information capacity of the light field as a data carrier, high speed of optical signal propagation, and the capability to implement a number of mathematically capacious operations in two-dimensional data arrays. Currently, there are many ways to decompose an image in some system of orthogonal functions. Their theoretical background was developed quite time long ago. With regard to practical implementation, the simplest one is Hadamard transform on the basis of which, in particular, Hadamard spectroanalyzer circuit is proposed. The method is based on the transformation of the original fragment of X image into Y transformant, the elements of which are obtained through the image orthogonal transformation. The above method of image encoding and reconstruction based on orthogonal transformations enables not only to decompose the image into the spectrum of two-dimensional basis functions, but also to implement efficiently and comparatively simply the function of image restoration by spectrum components. The proposed method can be applied in hybrid optoelectronic systems for image recognition, in particular in correlation-extreme measuring gauges for object motion parameters of security monitoring systems.

Keywords: motion parameters, image, basic function, correlation measurement systems, coding, orthogonal transformations.

References

1. *Jine A.* Video Compression: Overview. Proceedings of IEEE. 1981. Vol. 69. No. 3. Pp. 71–117.
2. *Krasilnikov N.N.* Theory of image transmission and perception and its appendices. Moscow: Radio i svyaz, 1986. 246 p.
3. *Ahmed N., Rao K.* Orthogonal transformations for digital signal processing. Transl. from Engl. Moscow: Svyaz, 1980. 248 p.
4. *Berkovskaya K.F.* Implementability of Hadamard spectroanalyzer. Book.: Optical data processing. Leningrad: Nauka, 1978.
5. *Petrakov A.V.* TV of peak potential. M.: Knowledge (series "Radio Electronics and Communication"), 1991. No. 3. 64 p.
6. *Gorokhov V.P., Kanajkin V.A., Petrakov A.V.* Pulse TV systems. Proceedings of the IT Development Forum IIDF-2005 (Department of "Information Science and Communication"). Moscow: Insvyazyizdat, 2005. P. 261.
7. *Petrakov A.V.* Automatic television facilities for registration of fast processes. Moscow: Energoatomizdat, 1987. 152 p.
8. *Akaev A.A., Maiorov S.A.* Coherent optical computers. Leningrad: Mechanical Engineering, 1987.
9. GOST R51558. Security television systems. General specifications and test methods. Moscow: Izdatelstvo standartov. 2014. 27 p.
10. *Kurapov E.F., Petrakov A.V.* Recognition probability by television control systems. Tekhnika kino i televideniya. 1982. No. 2. Pp. 42–45.