

**ИННОВАЦИОННЫЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ И  
КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Сборник трудов  
XIII Международной научно-практической конференции**



1 – 10 октября 2016 года  
Россия, г. Сочи

- CAM (Computer Aided Manufacturing) — системы автоматизации технологической подготовки производства;
- Concurrent Engineering — средства реализации технологии параллельного тотального проектирования в режиме группового использования данных;
- EDM (Enterprise Data Management) — система управления проектными и инженерными данными;
- системы визуализации всего процесса разработки документации;
- средства обмена данными;
- средства разработки прикладного программного обеспечения;
- методики анализа процессов проектно-технологической, производственной и управленческой деятельности.

Эффективность СМК базируется на трех основах:

- технологии электронного управления (система *ERP*);
- технологии интегрированной логистической поддержки (ИЛП-технологий);
- компьютерной технологии менеджмента качества (КМК-технологий) [6].

Последняя предусматривает создание и ведение компьютерной системы ретроспективного, текущего прогнозного анализа причин и стоимости устранения дефектов и отказов элементов, деталей, комплектующих изделий, узлов и продукции в целом на всех этапах ее жизненного цикла. Сюда же входит и создание и ведение "электронного паспорта" качества каждой единицы продукции.

Подчеркнем, что система качества должна соответствовать международным стандартам ИСО 9000 и ИСО 14000, которые представляют собой современный уровень управления качеством и включают в себя перечень апробированных элементов, необходимых для его обеспечения.

#### Литература

1. Ковалев С. М. Золотые правила описания бизнес-процессов / С. М. Ковалев, В. М. Ковалев // Консультант директора. – 2014. – № 12.
2. Проблемы создания единого информационного пространства при внедрении CALS-идеологии на предприятиях компрессоростроительной отрасли / Концевич В.Г. : Сборник трудов II Всероссийской студенческой науч.-прак. конф. «Вакуумная и компрессорная техника и пневмоагрегаты» / М.: МГТУ, 2014. 7-16 с.
3. Сергеев, А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник для бакалавров / А.Г. Сергеев, В.В. Терегеря. - М.: Юрайт, ИД Юрайт, 2013. - 838 с.
4. Суворова, С.П. Основы внутрифирменной стандартизации аудиторской деятельности: учеб. пособ. / С.П. Суворова, Н.В. Парушина, Е.В. Галкина, А.М. Ковалева. - М.: ИД ФОРУМ, ИНФРА-М, 2015. - 336 с.
5. Гродзенский С.Я., Калачева Е.А., Киселевич В.П. Выбор PDM-системы для информационной поддержки СМК // Стандарты и качество. —2015. - №5. - 59-61 с.
6. Гродзенский С.Я. Менеджмент качества: учебное пособие. – М.: Проспект, 2015. – 200 с.

#### МЕТОДЫ СВЕРХРАЗРЕШЕНИЯ В ЦИФРОВЫХ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Гужов В.И., Ильиных С.П., Хайбуллин С.В.  
Новосибирск, НГТУ  
+7 (383) 346-11-53, [conf@diag.ru](mailto:conf@diag.ru)

В статье предлагается новый алгоритм двумерного субпиксельного сканирования для достижения сверхразрешения при записи цифровых голограмм. Алгоритм легко распараллеливается, что позволяет выполнять вычисления в режиме реального времени.

Ключевые слова: цифровая голография, пространственный сдвиг, сверхразрешение.

The paper is devoted to the development of software and hardware system for expanding the field of view of optical microscopes.

Methods of superresolution in digital holographic systems. V.I. Guzhov, S.P. Ilinykh, Khaibullin, S.V., Novosibirsk, NSTU.

The paper proposes a new algorithm for two-dimensional subpixel scanning to achieve superresolution in recording digital holograms. The algorithm easily parallelizes, which allows to perform calculations in real time.

Keywords: digital holography, spatial shift, superresolution.

### Введение

Голографические методы являются одним из наиболее перспективных инструментов экспериментального исследования и анализа напряженно-деформированного состояния. Измерительные голографические системы нашли достаточно широкое применение в экспериментальной механике в 1970-1990 гг., их возможности и ограничения подробно исследованы и описаны в литературе [1-9].

Основным критерием работы голографической системы является разрешающая способность регистрирующих сред. Фотоматериалы, используемые в голографии, имеют разрешающую способность порядка нескольких тысяч линий на миллиметр. Попытки замены фотоматериалов термопластическими средами не решают данной проблемы из-за малого числа циклов записи-чтения и недостаточного пространственного разрешения. Тем не менее, работы в этом направлении продолжают по настоящее время [10, 11].

Однако в настоящее время основное внимание уделяется разработке цифровых голографических систем. В современных цифровых голографических системах регистрация голограмм производится с помощью CCD и CMOS фотоматриц. Характерные величины регистрируемых с помощью таких устройств изображений имеют порядок 5000x4000 пикселей (20 Mpixel) при размерах пиксела несколько микрон. В настоящее время фирма Canon разработала CMOS матрицу с разрешением 250 мегапикселей. При этом сенсор имеет размеры 29,2x20,2 мм. Разрешение составит 19580x12600 пикселей. Разработчики CMOS матриц, считают разрешение системы (в линиях) равным количеству считываемых с матрицы пикселей, разделенному на 1,5. Поскольку при оценке разрешающей способности объектива принято измерение в парах чёрной и белой линий мира Фуюко на мм (определяющих не одиночный пик, а пространственную частоту), то коэффициент пересчета разрешения матрицы в пары линий требует поправочного коэффициента 3,0. При таком пересчете даже у наиболее современной фотоматрицы разрешение не превышает 224 лин./мм.

Поэтому внимание многих исследователей посвящено вопросам синтеза высокоразрешающего изображения на основе группы изображений одного и того же объекта имеющих более низкое разрешение [12-16]. В радиотехнике данный подход называется синтезированной апертурой - synthetic aperture. В литературе такие методы часто называются методами «сверхразрешения».

В работе [16] реализован растр с размером 218 Mpixel. Время формирования растра составило 9 ч. 19 мин. Полное время вычислений оценивается авторами статьи в 3 дня. Конечно, такое время обработки для практических приложений является неприемлемым. Поэтому целью данной статьи является разработка быстрого двумерного алгоритма синтеза высокоразрешающих растров при произвольном числе пространственных сдвигов. В работе [17] рассмотрен способ повышения разрешающей способности матричных фотоприемников на основе субпиксельного сканирования при малом числе сдвигов на примере одномерной задачи.

#### Алгоритм повышения разрешения с использованием субпиксельного сканирования

Метод повышения пространственного разрешения, основан на синтезе высокоразрешающего растра из набора низкоразрешающих растров, полученных смещением изображения объекта на субпиксельную величину. Смещение может быть реализовано сдвигом фиксирующей матрицы фотодетектора или сдвигом непосредственно самого объекта.

Наименьшим элементом изображения является пиксель. Размер пикселя является постоянным и зависит от вида используемого устройства регистрации.

В настоящей работе представлено обобщение метода субпиксельного сдвига [17] на двумерный случай при произвольном числе пространственных сдвигов.

Для определенности рассмотрим предлагаемый алгоритм на примере двухэлементного фотоприемника ( $N_x=2$ ,  $N_y=1$ ) при коэффициентах увеличения  $m=4$  по горизонтали и  $n=3$  по вертикали, соответственно.

Для синтеза высокоразрешающего растра необходимо составить систему линейных алгебраических уравнений

$$QP=A, \quad (1)$$

где  $Q$  – матрица системы,  $P$  - вектор, состоящий из элементов низкоразрешающих растров и  $A$  - вектор, состоящий из элементов высокоразрешающего растра, соответственно.

Отметим, что для того, чтобы система уравнений (1) была определенной, число элементов низкоразрешающих растров должно быть равно числу элементов высокоразрешающего растра.

$$N = (N_x \cdot m)(N_y \cdot n) = (2 \cdot 4)(1 \cdot 3) = 24. \quad (2)$$

На рисунке 1 показаны этапы регистрации низкоразрешающих растров.

Рисунок 1 – Заполнение низкоразрешающих растров при различных положениях матрицы фотоприемника

На рисунке 2 показана структура расширенной матрицы системы СЛАУ (1), полученной из набора низкоразрешающих растров. Ширина ленты определяется коэффициентом увеличения растра по горизонтали ( $m$ ), а число блоков на главной диагонали равно коэффициенту увеличения растра по вертикали ( $n$ ), соответственно.

	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a21	a22	a23	a24	a25	a26	a27	a28	a31	a32	a33	a34	a35	a36	a37	a38								
a11	1	1	1	1																					00P1-02P1-(01P1-02P1)							
a12		1	1	1	1																				10P1-12P1-(11P1-12P1)							
a13			1	1	1	1																			20P1-22P1-(21P1-22P1)							
a14				1	1	1	1																		30P1-32P1-(31P1-32P1)							
a15					1	1	1	1																	00P2-02P2-(01P2-02P2)							
a16						1	1	1																	10P2-12P2-(11P2-12P2)							
a17							1	1																	20P2-22P2-(21P2-22P2)							
a18								1																	30P2-32P1-(31P2-32P1)							
a21									1	1	1	1													01P1-02P1							
a22										1	1	1	1												11P1-12P1							
a23											1	1	1	1											21P1-22P1							
a24												1	1	1	1										31P1-32P1							
a25													1	1	1	1									01P2-02P2							
a26														1	1	1									11P2-12P2							
a27															1	1									21P2-22P2							
a28																1									31P2-32P1							
a31																	1	1	1	1					02P1							
a32																		1	1	1	1				12P1							
a33																			1	1	1	1			22P1							
a34																				1	1	1	1		32P1							
a35																					1	1	1	1	02P2							
a36																						1	1	1	12P2							
a37																							1	1	22P2							
a38																								1	32P2							

Рисунок 2 – Блочнo-диагональная матрица СЛАУ.

#### Заключение

Предложен двухмерный алгоритм субпиксельного разрешения. Некоторым недостатком алгоритма является падение контраста синтезированного высокоразрешающего растра в сравнении с контрастом низкоразрешающих растров. Падение контраста обусловлено тем, что один низкоразрешающий пиксель содержит в себе несколько высокоразрешающих пикселей, т.е. контраст падает в  $K=m \times n$  раз. Поэтому для сохранения динамического диапазона рассчитанные значения яркости каждого из пикселей высокоразрешающего изображения необходимо увеличить в  $K$  раз.

#### Благодарности

Работа выполнена в рамках научного проекта (№16-08-00565), выполненного при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в 2016 г.

#### Литература

1. В.И. Гужов, С.П. Ильиных. Компьютерная интерферометрия, Изд-во НГТУ, 2004г. 252 с.
2. Ч.Вест., Голографическая интерферометрия, Мир, М., 1982.

3. Голографические неразрушающие испытания, под ред. Р.К.Эрфа, Машиностроение, М., 1979.
4. Gurevich V., Gusev M., Begishev I., Redkorechev V. The experience of pulse holography application for factory environment // Proc. of Int. Conf. On Trends In Optical NDT, Lugano, Switzerland, pp. 214-221, 1999.
5. Schnars U., Jupter W., Direct recording of holograms by CCD-target and numerical reconstruction. Applied Optics, 33(2) : 179-181, 1994.
6. M. Takeda, Hideki, and S. Kobayashi, Fourier-transform method of fringe pattern analysis for computer-based topography and interferometry., J. Opt. Soc. Am., 1982.
7. Решение проблемы фазовой неоднозначности методом целочисленной интерферометрии / Гужов В.И., Ильиных С.П., Кузнецов Р.А., Вагизов А.Р. Автометрия. 2013. Т. 49. № 2. С. 85-91.
8. Балтийский С. А., Гуров И. П., Де Никола С., Коппола Д., Ферраро П. Современные методы цифровой голографии. В кн.: Проблемы когерентной и нелинейной оптики /Под ред. И.П. Гурова и С.А. Козлова. СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. с. 91-117., U. Schnars, W. Jptner, Digital Holography, Springer-Verlag, Heidelberg, 2005.
9. N.Pandey, I. Naydenova, S. Martin, S. Mintova, V. Toal "Nanocomposite based photopolymer for improved holographic recording" , Photonics Ireland, 2007, NUI Galway, Ireland.
10. New recording materials for the holographic industry. Practical Holography XXIII: Materials and Applications, edited by Hans I. Bjelkhagen, Raymond K. Kostuk. Proc. of SPIE Vol. 7233, 72330K. 2009.
11. L. Granero; V. Micó; Z. Zalevsky; J. García; B. Javidi. Improving the resolution in phase-shifting Gabor holography by CCD shift . Proc. SPIE 9525, Optical Measurement Systems for Industrial Inspection IX, 95253U (22 June 2015).
12. С.Т. Васильков, В.М. Ефимов, А.Л. Резник. Быстрая цифровая реконструкция сигналов и изображений по критерию минимума энергии. Автометрия. 2003. Т. 39. № 4. С. 13-20.
14. D. Claus, "High resolution digital holographic synthetic aperture applied to deformation measurement and extended depth of field method," Appl. Opt. 49(16), 3187-3198 (2010).
15. Abbie E. Tippie, Abhishek Kumar and James R. Fienup. High-resolution synthetic-aperture digital holography with digital phase and pupil correction / OPTICS EXPRESS. June 2011. Vol. 19, No. 13. 12027-12038.
16. С.В. Блажевич, Е.С. Селютина. Повышение разрешения цифрового изображения с использованием субпиксельного сканирования. Научные ведомости БелГУ. Серия: Математика. Физика. 2014. □5(176). Вып. 34.
17. Голуб Дж., Ван Лоун Ч. Матричные вычисления. - М.: Мир, 1999. – 548с.
18. Численный расчёт цифровой голографической интерферометрии на платформе CUDA. Регистрационный номер в ФАП СО РАН: PR15011. Дата регистрации в ФАП: 2015-07-23.
19. Использование технологии CUDA для расшифровки интерференционных картин со случайными фазовыми сдвигами. Регистрационный номер в ФАП СО РАН: PR15009. Дата регистрации в ФАП: 2015-07-02.
18. Гужов В.И., Ильиных С.П., Кузнецов Р.А., Вагизов А.Р. Решение проблемы фазовой неоднозначности методом целочисленной интерферометрии. Автометрия. 2013. Т. 49. № 2. С. 85-91.
20. Ильиных С.П., Гужов В.И., Кафидова Н.Е., Бочаров Д.Д. Робастный алгоритм расшифровки интерферограмм. Автометрия. 2005. Т. 41. № 3. С. 122-125.

#### ТЕПЛОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ АНАЛОГИИ

Гурбанов Э.Р., Белый А.В., Кофанов Ю.Н.  
НИУ ВШЭ  
89067748748, [ergurbanov@edu.hse.ru](mailto:ergurbanov@edu.hse.ru)

В данной работе представлено пошаговое моделирование тепловых процессов в усилительных устройствах на основе электротепловой аналогии с использованием системы схемотехнического моделирования LTspice IV.

Ключевые слова: тепловое моделирование, электротепловая аналогия, усилительные устройства.

Thermal modeling amplifying devices based on electro-thermal analogy. Gurbanov E.R., Belyu A.V., Kofanov Y.N. NRU HSE.

This text presents a step by step modeling of thermal processes in amplifying devices based on electro-thermal analogy with the use of circuit simulation system LTspice IV.