

ТУЛЬТЕМИРОВА Г.У., МОМУНАЛИЕВА Н.Т., АККОЗОВ А.Д.

¹КГТУ им. И.Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика

TULTEMIROVA G.U., MOMUNALIEVA N.T., AKKOZOV A. J.

¹Kyrgyz State Technical University n. a. I.Razzakov, Bishkek, Kyrgyz Republic

tultemirova@gmail.com

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ СИНТЕЗА ГОЛОГРАММ МЕТОДОМ РЕАЛЬНОЙ ФАЗЫ

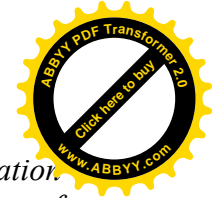
COMPUTER MODEL OF HOLOGRAM SYNTHESIS BY THE REAL PHASE

Компьютерде синтезделген голограммалар маалыматты оптикалык иштетүү, сүрөттү таануу, санариптик маалыматтарды 3D дисплейде жана голографиялык процесстерди симуляциялоо сыяктуу тармактарда кеңири колдонулат. Акустикалык жана микротолкундуу голографияда сүрөттөрдү реконструкциялоо үчүн синтезделген голограммаларды колдонуунун пайдалуулугун ашыкча баалоо кыйын. Голографиялык сактоо приборлорунун элементтери катары синтезделген голограммаларды колдонуу келечектүү. Компьютердик синтез көбүнчө керектүү касиеттерге ээ голограмманы алуунун жалгыз жолу. Синтезделген голограмманын негизги артыкчылыгы санариптик маалыматты оптикалык маалыматка айландыруунун эффективдүү каражаты болуп саналат. Булардын бардыгы өндүрүмдүүлүгү боюнча уникалдуу, анын ичинде санариптик электрондук жана оптикалык процессорлорду жана оптикалык маалымат параллелдүү иштетилген оптикалык процессорго мүнөздүү болгон эбегейсиз өндүрүмдүүлүк менен электрондук компьютердин ийкемдүүлүгүн жана ар тараптуулугун айкалыштырган гибридик эсептөө системаларын түзүүгө мүмкүндүк берет. Ошондой эле голографиялык сактагыч түзүлүштөрдүн элементтери катары санариптик голограммаларды колдонуу келечектүү.

Өзөк сөздөр: синтезделген голограмма, компьютердик модель, реконструкцияланган сүрөт, реалдуу фаза, орточо квадраттык ката, кванттоо.

Голограммы, синтезированные на компьютере, широко используются в таких областях, как оптическая обработка информации, распознавание изображений, трехмерное отображение цифровых данных и моделирование голографических процессов. Трудно переоценить полезность использования синтезированных голограмм для восстановления изображений в акустической и микроволновой голографии. Имеет перспективу использование синтезированных голограмм в качестве элементов голографических запоминающих устройств. Компьютерный синтез часто является единственным способом получения голограммы с желаемыми свойствами. Основное преимущество синтезированной голограммы состоит в том, что она является эффективным средством преобразования цифровой информации в оптическую. Все это позволяет создавать гибридные вычислительные системы, уникальные по производительности, включая цифровые электронные и оптические процессоры, и сочетающие гибкость и универсальность электронного компьютера с огромной производительностью, присущей оптическому процессору, в котором происходит параллельная обработка оптической информации. Перспективным является также использование цифровых голограмм в качестве элементов в голографических запоминающих устройствах.

Ключевые слова: синтезированная голограмма, компьютерная модель, восстановленное изображение, реальная фаза, среднеквадратическая ошибка, квантование.



Computer-synthesized holograms are widely used in areas such as optical information processing, image recognition, three-dimensional display of digital data, and modelling of holographic processes. It is difficult to overestimate the usefulness of the use of synthesized holograms for image reconstruction in acoustic and microwave holography. The use of synthesized holograms as elements of holographic storage devices is promising. Computer synthesis is often the only way to obtain holograms with desired properties. The main advantage of the synthesized hologram is that it is an effective means for converting digital information into optical. Due to this, it is possible to create hybrid-computing systems that are unique in performance, including digital electronic and optical processors and combining the flexibility and versatility of an electronic computer with the enormous performance inherent in an optical processor due to the parallelism of optical information processing. The use of digital holograms as elements in holographic storage devices is promising.

Key words: *hologram synthesis, computer model, real phase, reconstructed image, real phase, mean square error, quantization.*

Введение. Цифровые голограммы используются в различных областях науки и техники, таких как микроскопия, интерферометрия, распознавание трехмерных объектов, в технологии и внедряются в области нанотехнологий. Следует отметить также важную особенность синтезируемых голограмм, заключающуюся в возможности получения оптических волновых фронтов, которые физически не существуют, а задаются только математическим описанием.

В области синтеза цифровых голограмм известен метод Ломана, который является одним из первых методов. Исследованию этого метода посвящено не мало работ. Несмотря на это, имеется не до конца исследованный вариант, названный методом «real phase» (реальная фаза), который, по мнению авторов, устраняет фазовую ошибку при восстановлении изображения.

Качество синтезированной голограммы зависит от:

- 1) Какой метод кодирования используется при ее синтезе;
- 2) Правильного выбора значений параметров кодирования, дискретизации и квантования;
- 3) Совершенствования технологии получения голограмм: методов и устройств для регистрации синтезированных голограмм, а также материалов и их фотохимической обработки (от оптимизации ее режимов и т. д.).

Здесь под кодированием понимается представление (аппроксимация) записываемой голографической функции, являющейся в общем случае комплексной, в виде неотрицательной функции, если требуется синтезировать голограмму на амплитудных средах, и в виде чисто фазовой функции, т. е. в виде комплексной функции, но с постоянным модулем, если требуется синтезировать голограмму на фазовых средах.

Из перечисленных факторов, определяющих качество синтезированной голограммы, первостепенную роль играет метод кодирования. Объясняется это тем, что какими бы совершенными ни были устройства, используемые для регистрации голограмм, технологии и фотохимической обработки, а также методы оптимизации параметров кодирования, качество полученных голограмм все равно будет низким, если метод кодирования, используемый в синтезе, не идеален. Но при этом следует учитывать, что для каждого конкретного метода кодирования существует свой предел достижимого качества.

Другими словами, какими бы совершенными ни были другие компоненты, влияющие на качество голограмм, качество получаемых голограмм не может превышать этот предел. Следовательно, для дальнейшего улучшения качества синтезированной голограммы необходим более совершенный метод кодирования. Также следует отметить, что любой метод кодирования всегда разрабатывается с учетом его возможности при существующем уровне достижений в областях науки и техники, используемых для синтеза голограмм. То

есть на каждом качественно новом уровне достижений науки и техники следует пересматривать, развивать и / или улучшать новые методы кодирования.

Кодирование методом реальной фазы. Графическая иллюстрация сущности фазового кодирования в простом методе Ломана и реальном фазовом методе представлена на рис. 1. Здесь для обозначения зависимости главного значения аргумента (приведенного к интервалу $[-\pi, \pi]$) преобразования Фурье от $U(\xi, m\Delta\eta)$ по относительной (приведенной) абсциссе $\bar{\xi} = \xi / \Delta\xi$ вводится функция (1).

$$\Phi_U(\xi / \Delta\xi) \equiv \varphi(\xi, m\Delta\eta) = \arg U(\xi, m\Delta\eta) = \text{mod}[2\pi, \text{Arg}U(\xi, m\Delta\eta)] \quad (1),$$

а для обозначения зависимости основного значения восстанавливающего волнового аргумента $R(\xi, m\Delta\eta)$ введена функция (2).

$$\Phi_R(\xi / \Delta\xi) \equiv \arg R(\xi, m\Delta\eta) = \text{mod}[\text{Arg}R(\xi, m\Delta\eta), 2\pi] = \sum_{n=-N}^N \text{rect}\left(\frac{\xi - n\Delta\xi}{\Delta\xi}\right) \frac{2\pi}{\Delta\xi} (\xi - n\Delta\xi) \quad (2),$$

где $\text{mod}[\psi, 2\pi]$ означает значение угла ψ по модулю 2π . Следовательно, они являются разрывными функциями с точками разрыва первого рода.

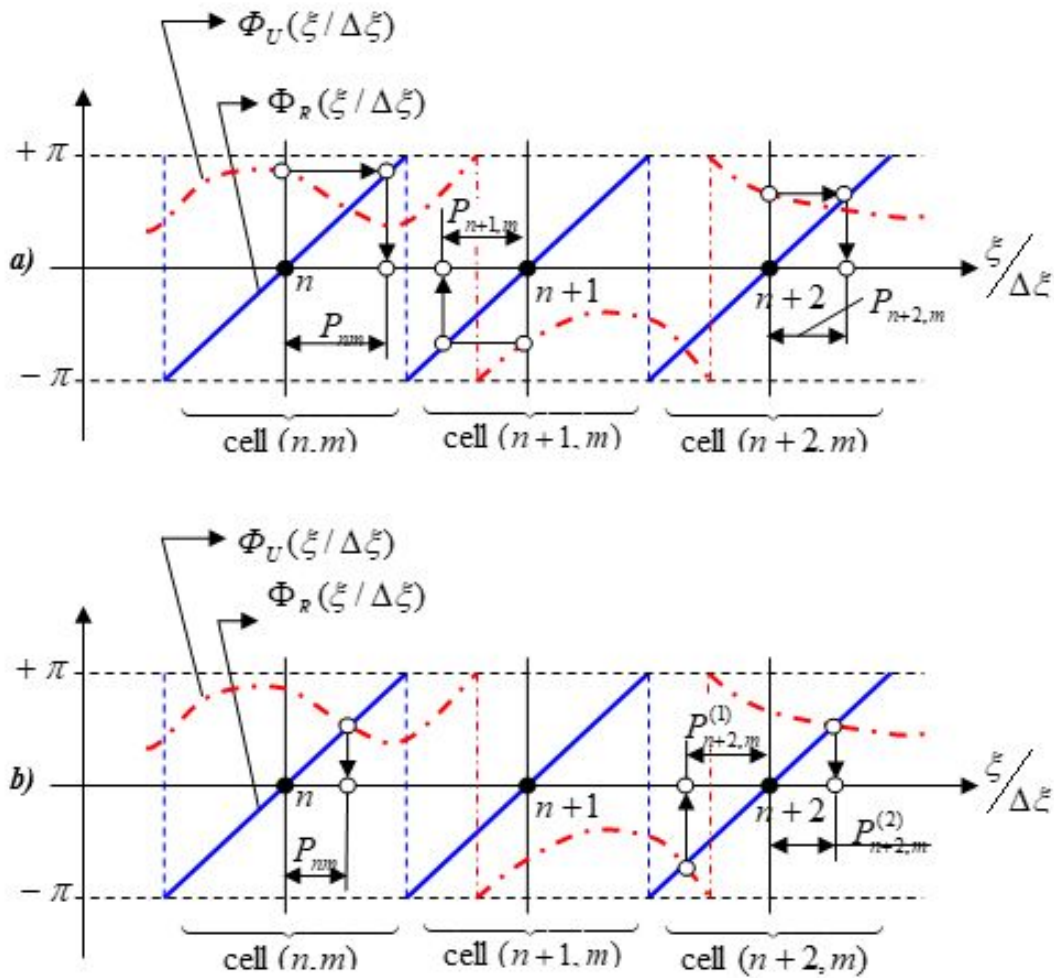


Рис. 1. К кодированию фазы в простом методе Ломана (а) и методе действительной фазы(б)

Исследование метода реальных фаз с помощью компьютерного моделирования.

Для заданного голографического объекта были синтезированы две голограммы: одна из них рассчитана с уточнением фазового сдвига, а другая без уточнения, т.е. с использованием простых кодовых соотношений. В этом случае параметры выборки и кодирования выбираются одинаково.

Качество восстановленного изображения оценивается среднеквадратической ошибкой (RMSE), то есть отклонением восстановленного изображения от исходного голографического объекта:

1. по модулю комплексных амплитуд
2. по комплексным амплитудам

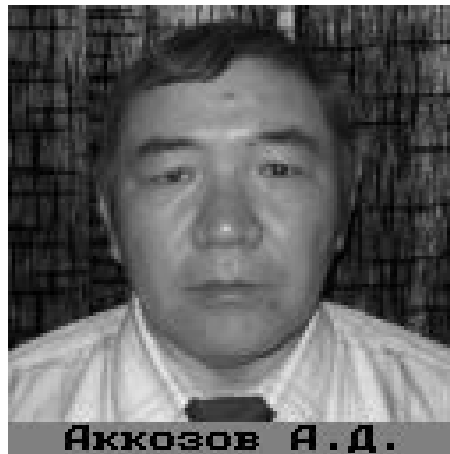


Рис.2 Фотография Аккозова А.Ж. была выбрана в качестве исходного голографируемого объекта при компьютерном моделировании.

Для выяснения зависимости качества восстановленного изображения σ^2 от степени уточнения $K_{\text{инт}}$, были вычислены значения среднеквадратической ошибки σ^2 для различных значений $K_{\text{инт}}$, по которым получены кривые, приведенные на рис.3 и 4. Кривая на рис.3 получена при диффузном освещении объекта. А кривая на рис.4 соответствует случаю зеркального освещения объекта. Из этого рисунка видно, что значение $K_{\text{инт}}$ достаточно выбирать в пределах от 4 до 8. Увеличение $K_{\text{инт}}$ выше практически не приводит к дальнейшему улучшению, а лишь приводит к увеличению времени расчета. Чтобы исключить влияние квантования кодируемых фаз на результат, синтез голограмм производился без квантования (это возможно при компьютерном моделировании).

По результатам моделирования получены кривые зависимостей качества восстановленного изображения от числа уровней квантования фазы для случаев записи с уточнением фазовых сдвигов методом действительных фаз и без уточнения. Такие кривые получены как для зеркального объекта(рис.3), так и для диффузного (рис.4) освещения объекта. На этих рисунках кривая 1 соответствует случаю синтеза без уточнения, а кривая 2 случаю записи методом реальной. Из сравнения кривых 1 и 2 следует:

- уточнение фазы действительно дает положительный эффект с точки зрения минимума среднеквадратической ошибки;
- оптимальное значение числа уровней квантования лежит в пределах от 16 до 48;
- метод реальных фаз более эффективен для случая синтеза голограмм зеркальных объектов, нежели для случая синтеза голограмм диффузных объектов.

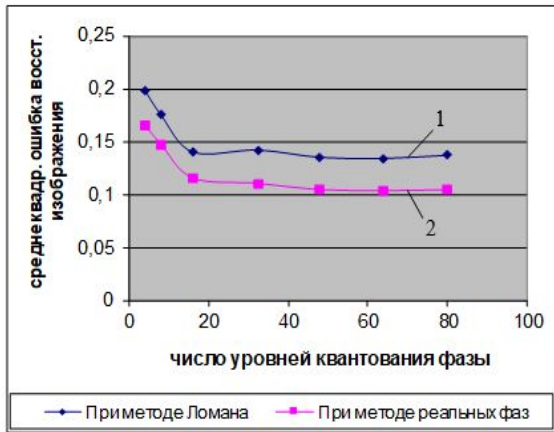


Рис 3. Зависимость среднеквадратической ошибки от числа уровней квантования фазы при синтезе голограммы зеркального объекта

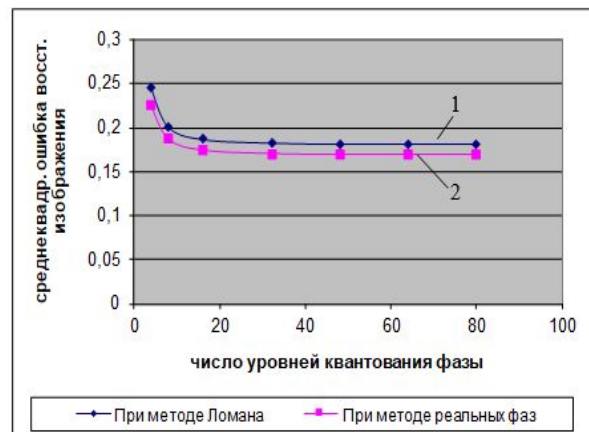
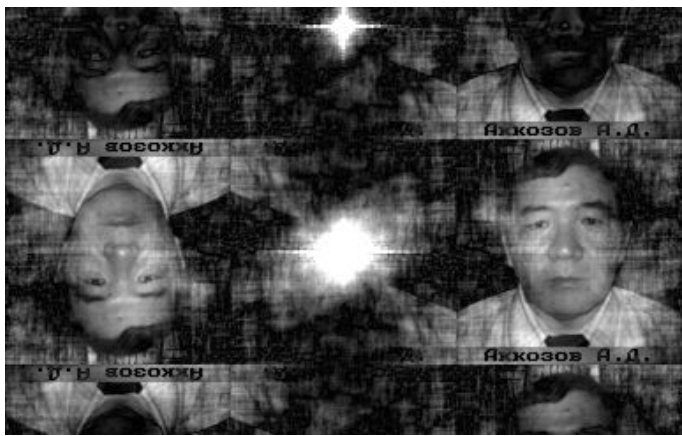


Рис 4. Зависимость среднеквадратической ошибки от числа уровней квантования фазы при синтезе голограммы диффузного объекта

Для качественной(визуальной) оценки восстановленного изображения получены картины восстановленного изображения зеркального объекта для случая синтеза методом реальных фаз (рис.5а) и для случая синтеза простым методом Ломана (рис.5б). Из рис.6а следует, что метод реальных фаз хоть и дает положительный эффект по среднеквадратической ошибке, восстанавливает он изображение исходного объекта, на которое в центрах полезных дифракционных порядков накладываются нежелательные яркие световые пятна малых размеров. Это явление является следствием того, что ячейки с $P_{nm} = 0$ остаются «пустыми», т. е. без апертур. Для устранения этих пятен, пустые ячейки были «заполнены», путем замены нулевых значений P_{nm} и W_{nm} пустых ячеек их значениями, вычисленными с помощью простых кодирующих соотношений по отсчетам в центрах ячеек $U(n\Delta\xi, m\Delta\eta)$, а также уменьшен шаг дискретизации $\Delta\xi$ в два раза.



а)

б)

Рис.5. а) Изображение, восстановленное с голограммы, синтезированной методом реальной фазы. б) Изображение, восстановленное из голограммы, синтезированной простым методом Ломана.



Вывод. Эффективность этого алгоритма заключается в том, что:

1. Эффективность метода реальной фазы сохраняется для всех значений номеров уровней квантования амплитуд;
2. Задача сводится к решению линейных уравнений, алгоритм решения которых «невозможно» прост;
3. Параллельное решение уравнений для всех ячеек сводит к минимуму количество необходимых двумерных массивов для одновременного хранения в ОЗУ компьютера выборочных матриц преобразования Фурье в узлах основной и дополнительной сеток дискретизации, а именно: до двух, независимо от выбранного количества промежуточных точек.
4. Уточнение фазового сдвига методом реальной фазы дает положительный эффект.

Недостаток этого алгоритма в том, что:

1. При относительно низких значениях метод реальной фазы может вызвать проблемы с памятью.
2. Метод реальных фаз, хотя и дает положительный эффект на среднеквадратичную ошибку, восстанавливает изображение исходного объекта, на котором в центрах полезных порядков дифракции накладываются нежелательные яркие световые пятна малых размеров.

Список литературы

1. Brown B. R., Lohmann A. W. Complex spatial filtering with binary masks- Appl. Opt ., 1966 ,v.5,N6,p.967-969.
2. Lohmann A. W. ,Paris D.P. Binary Fraunhofer holograms generated by computer.- Appl.Opt., 1967,v.6,N10,p.1729-1748.
3. Brown B. R., Lohmann A. W. Computer-generated binary holograms.-IBM Рис. 8 Journ.Res.Develop.,1969,v.13,N2,p.160-168.
4. Brown B. R., Lohmann A. W., Paris D.P. Computer-generated optical-matched filtering.-Opt.Acta.,1966,v.13,p.377.
5. Lohmann A. W., Paris D.F. Computer-generated spatial filters for coherent data processing. – Appl.Opt.,1968,v.7,N4,p.651-655.
6. Lohmann A. W., Paris D.P., Werlich H.W. A computer-generated spatial filter applied to code translation.-Appl.Opt.,1967,v.6,N6,p.1139-1140.
7. Hugonin J.P.,Chavel P.A. High quality computer holograms: the problem of phase representation.-Journ.Opt.Soc.Amer.,1976,v.66,N10,p.986-996.