

Сағымбаев А.А., Исманов Ю.Х.

Зависимость качества изображения от длины восстанавливающей волны

В статье рассмотрен метод записи радужных голограмм без использования щели, причем речь идет об отсутствии щели не только реальной, но и синтезированной. Такая голограмма, при освещении ее белым светом, восстанавливает изображение объекта, окрашенное в радужные цвета. Представлены результаты исследования влияния длины восстанавливающей волны на качество восстановленного изображения. Показано, что восстановление голограммы светом, длина волны которой отлична от длины записывающей волны, приводит к изменению двух важнейших характеристик изображений, влияющих на качество этих изображений: угловой размер и изменение масштаба изображений. Зависимость искажений подчиняется общим законам дифракции: искажение тем больше, чем больше отношение длин записывающей и восстанавливающей волн. Исследования проведены с помощью компьютерного моделирования процессов записи и восстановления радужных голограмм на основе бесщелевого метода. Результаты исследований могут быть использованы для разработки полной компьютерной модели, позволяющей синтезировать радужные голограммы, записанные бесщелевым методом.

Ключевые слова: радужная голограмма, бесщелевой метод, компьютерное моделирование.

Sagynbaev A.A., Ismanov Y.H.

Dependence of image quality on the length of the reconstructing wave

The article describes the method of the rainbow hologram recording without using real or synthesized slit. If the hologram is illuminated by white light, then the image of the object painted in bright colors is restored. It is also shown that the reconstructed rainbow image can be considered as the sum of the images reconstructed by different wavelengths. In general, these wavelengths are different from the length of the recording wave. This fact results in a slight distortion of the rainbow image. It is shown that the reconstruction of the hologram by the light whose wavelength is different from the length of the recording wave leads to a change in the two most important characteristics of the image that affect the quality of these images: the angular size and zoom images. Results of wavelength influence on the quality of the reconstructed image are represented. Investigations were carried out with the help of computer simulations of the recording and reconstruction of rainbow holograms based on slitless method. The research results can be used to develop a complete computer model to synthesize rainbow holograms recorded by the slitless method.

Key words: rainbow hologram, slitless method, computer simulation.

Сағымбаев А.А., Исманов Ю.Х.

Бейне сапасының қалпына келтіретін толқын ұзындығына байланысы

Мақалада құбылмалы голограммаларды саңылаусыз жазу әдісі қарастырылған және де бұл жерде нақты саңылаудың жоқтығымен қоса, синтезделгені де жоқ. Осындай голограмма, оны ақ жарықпен сәулелендіргенде, объектінің бейнесін қалпына келтіреді, құбылмалы түстерге бояйтын. Қайта қалпына келтірілген бейне сапасына қалпына келтіретін толқын ұзындығының әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Голограмманы толқын ұзындығы жазу толқын ұзындығынан өзгеше жарықпен қалпына келтіру бейненің сапасына әсері бар екі негізгі сипаттамаларының өзгерісіне әкелетіні көрсетілген; бұл сипаттамалар: бұрыштық өлшем және бейне масштабының өзгерісі. Бұрмалау тәуелділігі дифракцияның жалпы заңдарына бағынады: жазылу және қайта қалпына келтіру толқындар ұзындығының қатынасы көп болған сайын, кескіннің бұрмалауы көп болады. Зерттеулер саңылаусыз әдіске негізделген құбылмалы голограммаларды жазу және қайта қалпына келтіру үрдістерді компьютерлік модельдеу арқылы өткізілді. Зерттеу нәтижелері, саңылаусыз әдіспен жазылған құбылмалы голограммаларды синтездеуге мүмкіндік беретін, толық компьютерлік модельді құру үшін қолдануға болады.

Түйін сөздер: құбылмалы голограмма, саңылаусыз әдіс, компьютерлік модельдеу.

¹Государственное агентство связи при Правительстве КР,
Кыргызская Республика, г. Бишкек

²Кыргызский государственный университет строительства, транспорта
и архитектуры им. Н. Исанова,
Кыргызская Республика, г. Бишкек

*E-mail: i_yusupjan@mail.ru

ЗАВИСИМОСТЬ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТ ДЛИНЫ ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕЙ ВОЛНЫ

Введение

Моделирование процесса записи и восстановления радужной голограммы можно разбить на два сильно различающихся по своей реализуемости блока. Если запись бесщелевой радужной голограммы [1] сводится, по сути, к схеме записи голограммы Френеля, в которую вводится вторая опорная волна, то восстановление такой голограммы смоделировать на компьютере достаточно сложно, если вообще возможно. Дело в том, что восстановление такой голограммы когерентной волной [2] дает возможность получить информацию о записанном объекте во всех трех дифракционных порядках, т. е. она становится более информативной по сравнению с голограммой Френеля, записанной по обычной схеме. Однако в этом случае не используется одно из важнейших свойств радужных голограмм – возможность восстановления белым светом, получение многоцветного радужного изображения. Поэтому моделирование восстановления радужной голограммы – это восстановление белым светом, или, по крайней мере, одновременное восстановление несколькими длинами волн. Задача эта крайне сложная, поэтому как первый шаг на пути ее решения исследуется влияние длины восстанавливающей волны на вид и положение восстановленного изображения.

Восстановление голограммы светом, длина волны которой отлична от длины записывающей волны, приводит к изменению двух важнейших характеристик изображений, влияющих на качество этих изображений: угловой размер и изменение масштаба изображений.

Масштаб изображений обычно определяется соотношением пропорциональным $\mu = \lambda_2 / \lambda_1$, где λ_2 – длина волны света, которым восстанавливается голограмма, λ_1 – длина волны света, которым голограмма записывается. Обозначим увеличивающий коэффициент голограммы буквой m .

Коэффициент этот определяется как отношение соответствующих размеров голограммы после и до увеличения, т. е. исходной, оригинальной голограммы $m = x_2' / x_2 = y_2' / y_2$. Если изменение размеров голограммы сопровождается изменением радиусов кривизны волновых фронтов записывающего и восстанавливающего света, то для мнимого изображения полное поперечное увеличение определяется соотношением

$$M_{\text{nonep},V} = m \left(1 + \frac{m^2 z_1}{\mu z_c} - \frac{z_1}{z_r} \right)^{-1},$$

а для действительного изображения полное поперечное увеличение R определяется соотношением

$$M_{\text{nonep},R} = m \left(1 - \frac{m^2 z_1}{\mu z_c} - \frac{z_1}{z_r} \right)^{-1}$$

Если говорить об угловом увеличении, то эта характеристика, связывающая видимый угловой размер объекта, который можно наблюдать сквозь оптическое устройство, с его угловым размером, если наблюдение производится без участия этого устройства. Такое увеличение определяется соотношением

$$M_{\text{угл}} = \mu / m.$$

Продольное увеличение, которое можно рассматривать как увеличение по глубине, пропорционально M_{nonep}^2 .

Моделирование процесса записи и восстановления голограмм

Целью компьютерного моделирования было исследование зависимости размеров и положения восстановленных изображений от длины восстанавливающей волны. Необходимость такого исследования вытекает из того, что радужная голограмма восстанавливается белым светом, который представляет собой спектр волн различной длины. При восстановлении радужных голограмм возникает радужное, т. е. многоцветное изображение, представляющее собой, по сути, наложение множества изображений восстановленных различными длинами волн.

Детальное изучение влияния изменения восстанавливающей волны в сравнении с записывающей волной позволит реализовать восстановление радужных голограмм в белом свете.

Исследование проводилось на компьютерной модели процесса записи и восстановления голограмм Френеля. Так как радужная голография – это голография трехмерная, то, естественно, возникла необходимость обобщения голографии Френеля на случай записи объемных объектов [3].

В общем случае проблема компьютерной записи голограммы трехмерного объекта сводится к численному решению дифракционного интеграла. Однако расчет голограммы с использованием дифракционного интеграла даже для простейших трехмерных объектов математически очень трудоемкая задача. Поэтому в численных расчетах голограмм дифракционный интеграл сводят к интегралу Френеля. Преобразования Френеля, которые лежат в основе математического аппарата, описывающего процесс записи голограммы Френеля, это, по сути, двумерные преобразования, позволяющие увязывать точки одной плоскости с точками другой плоскости. Т. е. переходя от дифракционного интеграла как трехмерной задачи к преобразованиям Френеля, мы теряем информацию об одной из пространственных координат. Сделав этот шаг, т. е. перейдя от пространственной задачи к плоской, мы, строго говоря, потеряли возможность точного учета глубины и рельефа объекта. Даже в голограмму Френеля входит только расстояние от объекта до плоскости наблюдения, а не глубина рельефа объекта. Тем не менее, остается возможность синтезировать поле, восстанавливаемое в определенных условиях объект, а значит, остается наиболее важное свойство голографической визуализации – естественность наблюдения объекта. Что касается передачи рельефа, то для нее можно предложить искусственные приемы.

Задача вычисления распределения амплитуды и фазы световой волны, которая рассеивается произвольным трехмерным объектом на произвольную поверхность наблюдения, является по необходимости трехмерной и сводится к решению интегралов вида

$$\Gamma(\xi, \eta, \zeta) = \int_{F(x, y, z)} A(x, y, z) |b(x, y, z)| \times \exp i[\alpha(x, y, z) + \beta(x, y, z)] \times T(x, y, z, \xi, \eta, \zeta) dx dy dz,$$

где $A(x, y, z) \exp i\alpha(x, y, z)$ – распределение амплитуды и фазы освещения на поверхности наблюдения. Интегрирование производится по поверхности $F(x, y, z)$. Вид ядра этого преобразования $T(x, y, z, \xi, \eta, \zeta)$ зависит от пространственного расположения объекта и поверхности наблюдения. Вычисление таких интегралов в общем случае требует чрезвычайно громоздких расчетов. Но, учитывая естественные ограничения процесса визуального наблюдения, эту задачу можно существенно упростить [4, 5]. Эти ограничения состоят в следующем:

1. Размеры зрачка глаза наблюдателя намного меньше расстояния от объекта до поверхности наблюдения.

2. Человек с нормальным зрением воспринимает объем тел главным образом благодаря бинокулярному зрению, эффекту перспективных искажений и затенению непрозрачными телами тел, находящихся за ними, а также эффекту образования светотеней и бликов на диффузных поверхностях тел.

3. Участки поверхности наблюдения размером в межзрачковое расстояние глаз можно считать плоскими.

4. Глубина рельефа объектов, расположенных на удобном для рассматривания расстоянии от наблюдателя, обычно мала по сравнению с этим расстоянием.

Указанные ограничения позволяют, прежде всего, свести трехмерную задачу к двумерной. Для этого поверхность наблюдения можно разбить на участки, аппроксимируемые плоскостями. Распределение амплитуды и фазы волны на поверхности объекта заменить, пользуясь законами геометрической оптики, распределением амплитуды и фазы волны на плоскости, касающейся объекта (или просто достаточно близкой к нему, чтобы при пересчете амплитуды и фазы волны можно было пренебречь дифракцией) и параллельной данному плоскому участку поверхности наблюдения.

В качестве объекта для записи было взято трехмерное изображение сферы, сформированное таким образом, что помимо распределения амплитуды по поверхности сферы можно было задать и значения фазы для каждой точки поверхности сферы. Такая информация о входном

объекте позволяла свести трехмерное изображение к двумерному, для реализации преобразования Фурье, и затем, после преобразования, снова вывести трехмерное изображение.

Изображение исходного объекта расположено в левом верхнем углу поля изображения (рис. 1).

Длины волн были нормированы таким образом, что их диапазон был равен 0.4 – 0.7, что приблизительно соответствует видимому диапазону длин волн. Программа построена таким образом, что цвет восстановленного объекта приблизительно соответствует длине восстанавливающей волны.

При моделировании записи голограммы объекта (сфера) голограмма записывалась волной, длина которой соответствовала оранжевому цвету видимого спектра (нормированная длина волны равна 0.6). Длины волн нормировались таким образом, что у видимого участка спектра они изменялись от 0,4 до 0,7. На рисунках 2 и 3 представлены результаты восстановления голограммы сферы (исходный объект расположен в левом верхнем углу рисунка).

Для более точного фиксирования изменений в размерах и положении восстановленного объекта при изменении длины восстанавливающей волны по краям поля изображения жестко закреплены горизонтальная и вертикальная линейки.

Результаты восстановления даны последовательно для длин волн: 0,4 – фиолетовый цвет, 0,55 – зеленый цвет, 0,6 – оранжевый цвет, 0,7 – красный цвет. Как видно из рисунков, изменение размеров восстановленных изображений происходит только в поперечном направлении, что объясняется тем, что голограмма восстанавливается плоской волной, фронт которой совпадает с направлением изменения размеров восстановленных изображений.

При восстановлении голограммы светом с длиной волны меньшей исходной происходит увеличение размеров восстановленного изображения в поперечном направлении, причем увеличение определяется отношением $\mu = \lambda_2 / \lambda_1$, где λ_1 и λ_2 – соответственно длины восстанавливающей и записывающей волн.

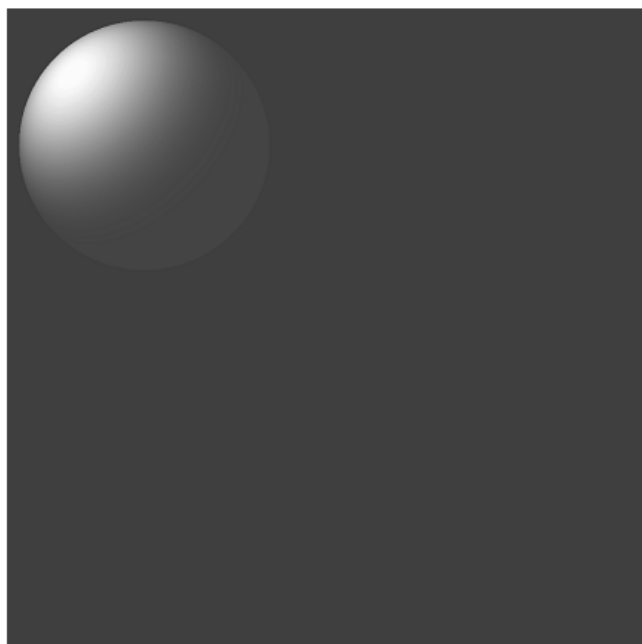


Рисунок 1 – Исходное изображение сферы. Освещение параллельным пучком света

На рисунках также хорошо видно, что смещение восстановленных изображений от оси голограммы увеличивается при увеличении длины восстанавливающей волны. Данное явление легко объясняется, если вспомнить, что голограмма является, по сути, дифракционной решеткой, для которой характерно то, что угол дифракции света увеличивается с увеличением длины освещающей волны.

Также видно на всех рисунках, что восстанавливается только мнимое изображение

(изображение сферы в левом верхнем углу). Действительное изображение сильно расфокусировано – мы видим только фон, сформированный этим изображением. Кроме того, мы видим в центре, где обычно кроме изображения светового пятна (восстановленный опорный луч) ничего не присутствует, восстановленные четкое мнимое и сильно расфокусированное действительное изображения. Данная особенность характерна для бесщелевых радужных голограмм, восстановленных когерентной волной.

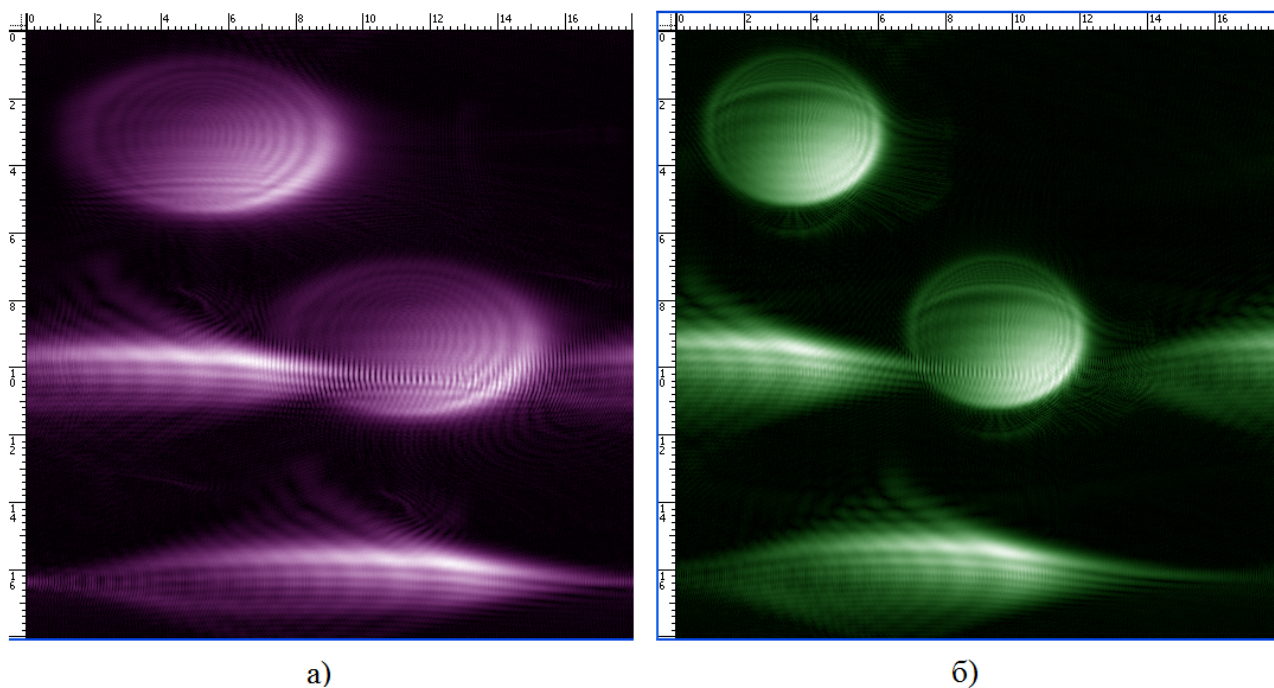


Рисунок 2 – а) Восстановление голограммы длиной волны 0,4 (фиолетовый цвет);
б) Восстановление голограммы длиной волны 0,55 (зеленый цвет)

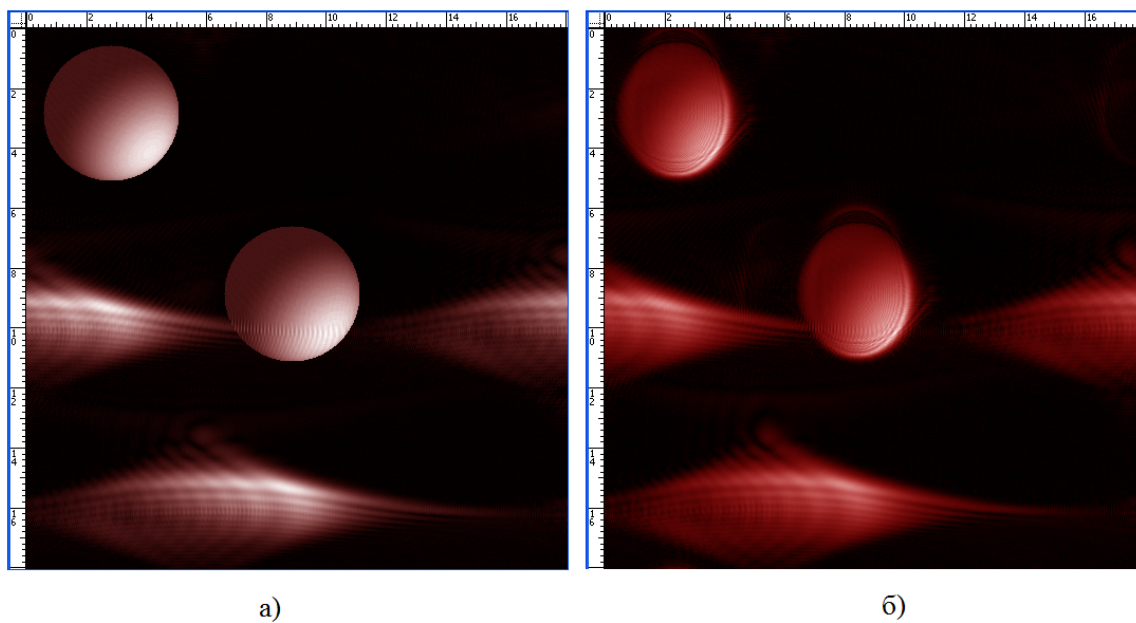


Рисунок 3 – а) Восстановление голограммы длиной волны 0,6 (оранжевый цвет);
б) Восстановление голограммы длиной волны 0,7 (красный цвет)

Заключение

Вывод, который можно сделать по результатам моделирования – это то, что предложенную схему восстановления радужных голограмм можно рассматривать как предварительную модель восстановления радужных голограмм. В этой модели восстановление белым светом, т. е. спектром волн различной длины, заменено последовательным восстановлением радужной голограммы когерентными волнами различной длины из спектра белой волны. Получены последовательности изображений исходного объекта, восстановленные в различных цветах так, как если бы мы рассматривали восстановленное радужное изображение под различными углами, смещаясь по горизонтали.

Показано, что восстановление голограммы светом, длина волны которой отлична от длины

записываемой волны, приводит к изменению двух важнейших характеристик изображений, влияющих на качество этих изображений: угловой размер и изменение масштаба изображений. Зависимость искажений подчиняется общим законам дифракции: искажение тем больше, чем больше отношение длин записываемой и восстанавливающей волн.

Полученные результаты совпадают с результатами оптических экспериментов по восстановлению радужных голограмм белым цветом, если учесть закономерности изменения цветов в радужном изображении восстановленного объекта, и показывают работоспособность предложенной компьютерной модели голографического процесса и возможность использования ее при моделировании процесса записи радужных голограмм бесцелевым методом.

References

- 1 Maripov A. Theory of the slitless rainbow holography and the Talbot effect in holography // J. Optics (Paris). – 1995. – V.26. – No.5. – P.201-209.
- 2 Ismanov YU. KH., Maripov A. Modelirovaniye protsessov zapisi i vosstanovleniya gologramm, zapisannykh s ispol'zovaniyem vtorogo opornogo puchka // Izvestiya KGTU im. I. Razzakova. – 2006. – № 9. – t. II. – s. 154-159.
- 3 Ismanov YU. KH. Komp'yuternaya golografiya trekhmernykh ob'yektov // Vestnik KNU im. ZH. Balasagyna. – 2005. – Ser. 3. – Вып. 3. – s. 77-79.
- 4 Yaroslavskiy L. P., Merzlyakov N. S. Tsifrovaya golografiya. – М: Nauka, 1982. – 221 s.
- 5 Prett U. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy. – М.: Mir, 1982. – Т. 1. – 790 s.