

9. Herzog D. V. Description of a dry film tactical laser beam recorder. — SPIE, 1979, 200, p. 125—143.
10. Ishida T., Masuko H. 70-mm film laser television. — NHK technical monograph, 1982, N 32, p. 57—62.
11. Крамер С. J. Holographic laser scanners for nonimpact printing. — Laser focus, 1981, N 6, p. 70—82.
12. Motoaki T., Sugiura Y. Direct laser-beam recording of color television signals on color print film. — JSMPT, 1977, 86, N 2, p. 71—73.
13. Motoaki T., Sugiura Y. Laser beam recorder for video-to-film transfer. — NHK technical monograph, 1982, N 32, p. 80—83.
14. Pizzo R. Laser beam modulators: Electro-optic or Acousto-optic. — Electro-Optical System Design, 1979, 11, N 10, p. 37—41.
15. Roddy J. E. Wideband signal recording on film using (Al, Ga, As) CW injection laser. — RCA Review, 1975, 36, N 12, p. 744—758.
16. Swan D. A PAL tape to film laser beam recorder. — The Royal Television Soc. Journ., 1974, 15, N 6, p. 206—211.
17. Taneda T. a. o. High-quality laser color television display. — JSMPT, 1973, 82, N 6, p. 470—474.
18. Мустель Е. Р., Парыгин В. Н. Методы модуляции и сканирования света. — М.: Наука, 1970.
19. Устройство записи ТВ изображений на кинопленку/И. В. Бенедичук, В. Г. Сошников, И. В. Фридлянд, Л. Е. Чирков. — Техника кино и телевидения, 1980, № 1, с. 22—30.
20. Метод и аппаратура для перевода изображений с магнитной ленты на кинопленку с помощью лазеров/М. В. Антипин, И. С. Голод, В. А. Кныш, В. А. Коновалов, Ю. С. Косарский, О. П. Макаров — Техника кино и телевидения, 1982, № 11, с. 3—9.
21. Оптическое устройство воспроизведения ТВ сигналов на основе акустооптического дефлектора/И. В. Бенедичук, Ю. Л. Обозненко, Е. И. Смирнов, Л. Е. Чирков. — Техника кино и телевидения, 1978, № 6, с. 3—10.

УДК 778.38:621.397.13

Передача голограммического изображения в замкнутой ТВ системе

С. П. Воробьев

В настоящее время передача изображения, восстановленного из голограммы с помощью замкнутой ТВ системы, получает широкое распространение. В таких хорошо известных системах, как голограммический кинематограф [1], голограммическая информационно-поисковая система (ИПС) «Fedgar» [2] применена ТВ передача изображения. Конкретная ТВ система для передачи голограммического изображения рассмотрена в [3]. Не исключено, что в процессе совершенствования голограммических ИПС [4, 5, 6] ТВ линия связи окажется одним из наиболее эффективных и удобных способов вывода информации к абоненту.

Разработка конкретных систем передачи голограммических изображений требует детального анализа процесса считывания голограммического изображения в ТВ системе и передачи его по линии связи. В настоящей работе этот вопрос рассматривается применительно к голограммическим изображениям страниц научно-технических документов.

Для голограммической записи документов используются голограммы Фраунгофера [7]. Конечные размеры голограммы ограничивают пространственный спектр восстановленного изображения, что ухудшает разрешение в изображении по сравнению с исходным документом. С другой стороны, это дает возможность представить восстановленное из голограммы изображение в виде функции пространственных координат с ограниченным спектром. К таким функциям применима теорема Котельникова, на основании которой можно оптимизировать требования к разрешающей способности ТВ системы. Согласно этой теореме, функция, имеющая ограниченный спектр, может быть полностью восстановлена по конечному числу ее значений, отстоящих друг от друга на определенных интервалах. Для прямоугольной апертуры в частотной

области можно записать [8]:

$$f(x, y) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} f\left(\frac{n}{2\Delta v_x}, \frac{m}{2\Delta v_y}\right) \times$$

$$\times \operatorname{sinc}\left[2\Delta v_x\left(x - \frac{n}{2\Delta v_x}\right)\right] \operatorname{sinc}\left[2\Delta v_y\left(y - \frac{m}{2\Delta v_y}\right)\right], \quad (1)$$

где $f(x, y)$ — функция, имеющая ограниченный спектр; $f(n/2\Delta v_x, m/2\Delta v_y)$ — выборочные значения функции, расположенные через интервалы $\Delta x = 1/2\Delta v_x$, $\Delta y = 1/2\Delta v_y$; Δv_x , Δv_y — размеры области пространственных частот.

Формула (1) записана для случая максимально допустимых интервалов Δx , Δy между выборочными значениями функции. Для квадратной апертуры в частотной плоскости $\Delta x = \Delta y$. Для голограммы Фраунгофера регистрируемые пространственные частоты v_x , v_y связаны с координатами в фокальной плоскости x' , y' формирующего объектива следующими выражениями (в параксимальном приближении) [9]: $v_x = x'/f\lambda$, $v_y = y'/f\lambda$, где f — фокусное расстояние объектива, λ — длина волны света. С помощью последнего соотношения можно выразить размеры области пространственных частот через размер голограммы D . Считая $x' = y'$, $\Delta v_x = \Delta v_y = x'_{\max}/f\lambda = D/2f\lambda$. Отсюда интервал Котельникова между выборочными значениями функции: $\Delta x = \Delta y = f\lambda/D$. Например, при $f = 85$ мм и $\lambda = 0,63$ мкм и размере голограммы 2 мм получим $\Delta x = \Delta y = 27$ мкм.

Полное восстановление $f(x, y)$ (1) происходит при пропускании вспомогательной функции, являющейся набором выборочных значений $f(x, y)$ через низкочастотный фильтр $H(v_x, v_y)$, прозрачный ($H(v_x, v_y) = 1$) в области $|v_x| < \Delta v$, $|v_y| < \Delta v$ и полностью задерживающий сигнал вне этой области.

Этот фильтр практически невозможно реализовать, так же как и получить точные выборочные значения исходной функции, требующие бесконечно тонких считывающих импульсов. Любой считывающий элемент, будь то электронный или лазерный пучок, имеет конечные размеры. В [8] показано, что в случае считывания импульсами конечной величины необходимо пропустить сигнал через низкочастотный фильтр с характеристикой $H_1(v_x, v_y) = H(v_x, v_y)/H_0(v_x, v_y)$, где $H_0(v_x, v_y)$ — спектр восстанавливающего импульса; $H(v_x, v_y)$ — частотная характеристика рассмотренного выше идеального фильтра. Допустим, что в качестве считывающего импульса используется электронный пучок, описываемый нормированной функцией Гаусса: $I(r) = (1/a\sqrt{\pi}) \exp(-r^2/a^2)$, где a — параметр, определяющий размеры пучка, $r^2 = x^2 + y^2$. Пространственный спектр импульса $H_0 = \exp(-\pi^2 v^2 a^2)$, $v^2 = v_x^2 + v_y^2$. Из последних выражений следует, что результатирующая частотная характеристика фильтра $H_1 = 1 + \exp(Hav)^2$ в интервале $|v| \leq \Delta v$ и $H_1(v) = 0$ вне этого интервала.

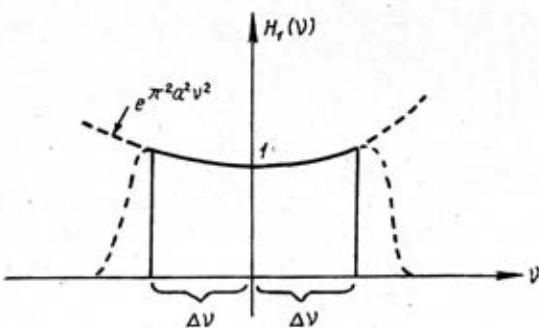
На рисунке представлена форма частотной характеристики фильтра $H_1(v)$. Если расстояние между выборочными значениями выбрать меньше, чем $\Delta x < 1/2\Delta v_x$, $\Delta y < 1/2\Delta v_y$, то можно использовать фильтры, имеющие сглаженные фронты (пунктирная кривая на рисунке), что облегчает конструирование таких фильтров. В приведенных характеристиках низкочастотных фильтров не определяется место их расположения. Так как искажения, компенсируемые фильтром, вызваны конечными размерами электронного пучка, то естественно, что этот фильтр следует разместить в схеме обработки электрического сигнала, полученного с помощью электронного пучка, например в видеоусилителе. В этом случае фильтр будет работать в области положительных частот.

По функции пропускания фильтра $H_1(v)$ можно оценить требуемый размер считывающего пучка. Предположим, что подъем частотной характеристики на границах спектра составляет 20 % от нулевой частоты, т. е. $\exp(\lambda\Delta v)^2 = 1.2$. Отсюда $a = 0.14/\Delta v$. Таким образом, параметр a обратно пропорционален размеру спектра изображения Δv .

Из выражения, определяющего $\Delta v_x = \Delta v_y$, при указанных выше величинах f , λ и D находим $\Delta v = 20 \text{ м}^{-1}$, следовательно, $a = 7 \text{ мкм}$, размер электронного пучка 14 мкм. При таком размере пучка и заданном подъеме частотной характеристики изображение будет передаваться без искажений. Если же размеры электронного пучка превышают указанное значение, изображение будет считываться с искажениями — уменьшится амплитуда высших частот спектра видеосигнала. Это уменьшение, выраженное через значение коэффициента модуляции K , для случая синусоидального распределения интенсивности в изображении следующим образом зависит от размера считывающего пучка (в долях периода): $K = 2/[1 + \exp(a^2/2)]$.

При a , близком к нулю, $K \approx 1$, т. е. происходит точное восстановление гармонического поля. С ростом a амплитуда сигнала падает. Это говорит о том, что соответствующий спектральный компонент будет передаваться с меньшей амплитудой. Чтобы поднять ее до первоначальной величины, необходимо пропустить сигнал через фильтр типа $H_1(v)$.

В [10] показано, что полоса частот ТВ-системы определяется по наивысшей частоте спектра видеосигнала и без учета времени обратного хода. Она вычисляется по формуле $\Delta F \approx F_{\max} = Nz^2/2$, где N — частота кадров, Гц; $p = l/h$ — формат кадра; z — число строк в кадре. Предположим, что в дальнейшем ТВ-сигнал проходит через фильтр $H_1(v)$, аналогичный используемому в ТВ-апertureному корректору. В этом случае можно допустить, что размер растрового элемента Δx_0 совпадает с интервалом



Характеристика частотного фильтра, восстанавливающего функцию $f(x, y)$ импульсом конечной ширины

между выборочными значениями голограммического изображения Δx , а ТВ-сигнал полностью соответствует голограммическому изображению.

Полное число растровых элементов можно определить по их размеру и площади кадра: $n = lh/\Delta x_0 \Delta y_0$. В дальнейшем считаем, что растровый элемент имеет одинаковые размеры по обеим координатам: $\Delta x_0 = \Delta y_0$. Тогда полоса пропускания $\Delta F = Nh/2\Delta x^2$. Учитывая приведенное выше определение интервала $\Delta x = \Delta y$ между выборками получим

$$\Delta F = NhD^2/2(\lambda f)^2. \quad (2)$$

Для указанных выше значений D , λ , f и размеров кадра $l=15 \text{ мм}$, $h=20 \text{ мм}$ (размеры рабочего поля видикона ЛИ-418) и $N=25 \text{ Гц}$ получим $\Delta F=5.2 \text{ МГц}$.

Создание ТВ-системы с такой полосой пропускания не вызывает технических трудностей. Однако необходимо иметь в виду, что используемый в расчетах размер голограммы не является единственным возможным. Практика изготовления голограмм научно-технических документов [11] показывает, что для некоторых текстов, имеющих мелкий шрифт, требуется увеличить размер голограммы до 3—4 мм, чтобы сохранить хорошую читаемость изображения страницы документа. Соответственно возрастает и полоса пропускания ТВ-системы. Для $D=4 \text{ мм}$ (остальные параметры те же, что и выше) требуется полоса частот возрастает до 21 мГц.

Используя формулу (2), можно получить явную зависимость полосы частот от размеров области пространственного спектра изображения: $\Delta F = 2Nh(\Delta v)^2$. Зная полосу частот, можно определить число строк разложения ТВ-растра $z = \sqrt{2\Delta F/Np}$. Например, для $\Delta F=20 \text{ МГц}$ $z=1600$ строк.

Следует подчеркнуть, что рассмотренный подход справедлив как для ТВ, так и для лазерных систем считываивания изображений.

ЛИТЕРАТУРА

- Хиннен У. Дж. Голограммические кинофильмы, получаемые тиснением. — Техника кино и телевидения, 1973, № 8, с. 43—51.
- Патент Великобритании № 1361680, июль 1974.
- ТВ-система передачи изображений с голограммическим накопителем информации/В. А. Бибиков, Л. Н. Вагин, С. П. Воробьев, Э. С. Светлицкий. — Техника кино и телевидения, 1982, № 6, с. 34—36.
- Вагин Л. Н. — Электронная промышленность, 1973, № 5, с. 63—64.
- Толчин В. Г., Туруханов Б. Г. — Материалы VI Всесоюзной школы по голограммии. Л.: 1974, с. 303—324.
- Вагин Л. Н. Буферная память для передачи ТВ-изображений с использованием голограммического на-

копителя. — Техника кино и телевидения, 1981, № 3, с. 56.

7. Автоматизированное устройство «Мигол-1» для голограммической миниатюризации документов/Л. Н. Вагин, А. М. Филатов, С. П. Воробьев, В. И. Егоров. — Оптико-механическая промышленность, 1978, № 8, с. 32—36.

8. Папулис А. Теория систем и преобразований в оптике. — М.: Мир, 1971.

9. Кольер Р., Берхарт К., Лин Л. Оптическая голограмма. — М.: Мир, 1973.

10. Рыфтин Я. А. Телевизионная система. — М.: Советское радио, 1967.

11. Голограммическая миниатюризация научно-технических документов/Л. Н. Вагин, Л. Г. Назарова, Т. М. Арсеньева, В. А. Ванин. — Оптика и спектроскопия, 1975, т. 33, вып. 5, с. 994—998.

УДК 778.38 запись

Предварительный оптический контроль голограммического изображения, синтезируемого из фототранспарантов

Н. К. Игнатьев

В одном из методов голограммического кинематографа предполагается использовать синтез голограммы из комплекта фототранспарантов (стереограммы) [см. литературу]. Однако процесс их поочередной голограммической печати весьма трудоемок, а качество получаемого голограммического изображения по непрерывности оглядывания или «стереоскопичности» никак не может быть заранее определено, если ориентироваться только на сами транспаранты. Между тем возможен предварительный оптический контроль получаемого объемного изображения. Такой контроль легко реализуется при условии, что ширина транспарантов не превышает расстояния между осями объективов при последовательной съемке. Что же касается многообъективной, т. е. одновременной съемки, то здесь указанное условие всегда соблюдено.

На рисунке (а) приведена схема проецирования одного из транспарантов I через объектив 2 на голограммическую пластинку 3 , где интервалы l и L связаны с фокусным расстоянием f_1 объектива как

$$(1/l) + (1/L) = 1/f_1. \quad (1)$$

В результате восстановления голограммического изображения фиксированные на транспаранте точки A и B воспроизводятся в плоскости голограммы в виде точек A' и B' соответственно, посыпая обратные пучки лучей в геометрическое место апертуры объектива (за пределами которого они показаны пунктиром). Задача состоит в том, чтобы образовать эти обратные пучки непосредственным проецированием этого же транспаранта в сторону наблюдателя, минуя тем самым голограммический процесс.

На рисунке (б) приведена схема обратного проецирования, позволяющая решить эту задачу. Здесь сохранены те же интервалы l и L , что и при прямом проецировании, а фокусное расстояние f_2 линзы 4 , через которую ведется наблюдение, выбрано большим чем f_1 в соответствии с равенством

$$(1/l) - (1/L) = 1/f_2. \quad (2)$$

С учетом (1) и (2) получим

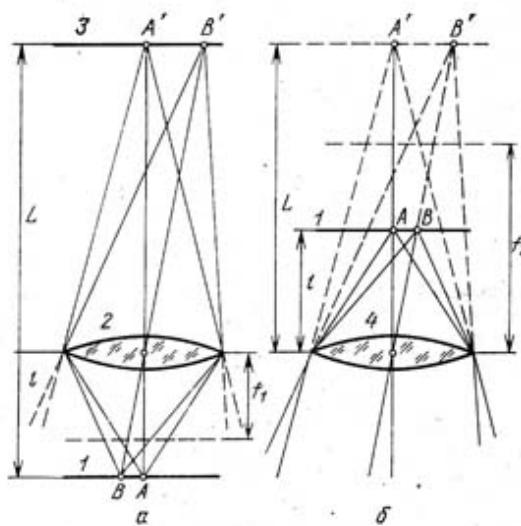
$$1/f_2 = (2/l) - (1/f_1). \quad (3)$$

Как видно, транспарант с фиксированными точками A и B проецируется теперь в сторону наблюдателя в расходящихся пучках, восстанавливающих образы точек A' и B' в тех же геометрических местах, что и на голограмме. Сказанное вытекает из построения лучей. Заметим, что транспарант, повернутый ранее эмульсией в

сторону объектива, теперь должен быть повернут ею в сторону линзы.

Для реализации наблюдения полного синтезированного изображения должен быть составлен блок из n линз (по числу n расположенных за ними транспарантов) с фокусными расстояниями f_2 согласно (3). Для безразрывного наблюдения соседних ракурсов линзы должны приымкать друг к другу. При этом индивидуальный поворот каждого из транспарантов должен выполняться с сохранением его порядкового положения при съемке относительно объекта.

При многообъективной съемке на рулон фотопленки последнее требование приводит к необходимости механического разделения полученных на ней транспарантов, что вызывает определенные неудобства. В случае же наиболее часто используемой последовательной съемки на



Оптические схемы проецирования транспаранта:
а — в сторону голограммической пластины; б — в сторону наблюдателя