

**А. Г. Жданов** – магистрант кафедры медицинской радиоэлектроники

**Б. С. Гуревич** (д-р техн. наук, проф.) – научный руководитель

## **ПРИНЦИПЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ОБЪЁМА ИНФОРМАЦИИ, ПЕРЕДАВАЕМОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ**

Рассмотрение информационных процессов, происходящих при работе с различными оптическими приборами, при формировании изображений, в фотографии, спектральном анализе, голографии, оказываются необходимым дополнением к анализу оптических процессов, особенно учитывая, что эти процессы, во многих случаях являются составной частью новых информационных технологий. К технологиям, определяющим общий технический прогресс, относятся регистрация, хранение и обработка информации оптическими методами. Возможность параллельной обработки больших массивов информации и голографической записи ее в объеме регистрирующих сред позволяет рассматривать оптические методы обработки как альтернативу электронным методам.

Из сказанного следует, что важную роль играет возможность количественной оценки обрабатываемой и передаваемой информации в оптических системах. Следовательно, можно заключить, что любые попытки формализовать процесс прохождения информации через оптическую систему являются шагом к количественной оценке способности систем передавать и обрабатывать информацию и позволяют оптимизировать их информационные характеристики. Одним из способов формализовать этот процесс является использование концепции оптических степеней свободы.

Установление связи между количеством оптических степеней свободы различных типов и объемом информации, которую система в состоянии переработать, позволит дать конкретные рекомендации по оптимизации оптической системы, и это делает данную задачу весьма актуальной.

В работе рассмотрена концепция оптических степеней свободы, связь степеней свободы различного типа с физическими и физико-техническими характеристиками системы. На базе проведенного анализа литературных данных и собственных расчетов устанавливается связь между числом оптических степеней свободы, объемом обрабатываемой информации и отношением сигнал/шум на выходе оптической системы. Сформированы практические рекомендации, позволяющие провести информационную оптимизацию некоторых оптических систем.

В рамках настоящей работы необходимо рассмотреть и установить условия дискретизации световых полей в отдельных звеньях оптических систем для более точного определения их информационных параметров и для осуществления уплотнения хранимой и передаваемой информации. Следует также рассмотреть отдельные виды степеней свободы (по третьему измерению, спектральные степени свободы), а также определить оптимальные условия возможного обмена одного вида степеней свободы на другие. Для определения общего объема информации, обрабатываемого системой, необходимо рассмотреть оптимальные критерии разрешения как пространственного по координатам  $x$ ,  $y$  и  $z$ , так и по длине волны.

Несмотря на существенные потери в третьем измерении, общее число степеней свободы для трехмерного изображения значительно превышает это число для двухмерного. Кроме того, часто информация, распределенная вдоль оси  $z$ , оказывается более важной, чем другая информация, т.е., ей могут быть приписаны более высокие весовые коэффициенты.

Примером такой системы может служить оптический профилометр, в оптической схеме которого используется линза с сильной хроматической аберрацией. У такой линзы наблюдается сильная зависимость фокусного расстояния от длины волны света (рисунок 1).

С помощью такой линзы может быть создано профилометрическое устройство, работающее на отражение, при условии, что длина волны источника света будет изменяться необходимым образом в реальном времени. Последнее обстоятельство может быть обеспечено применением акустооптического перестраиваемого фильтра.

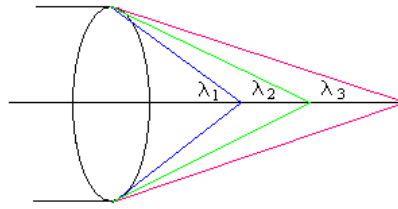


Рис. 1. Линза с сильной хроматической аберрацией.  $\lambda_3 > \lambda_2 > \lambda_1$

Для такого типа приборов может быть предложен специальный критерий разрешающей способности по третьему измерению, учитывающий отношение сигнал/шум и, следовательно, однозначно связанный с числом оптических степеней свободы по третьему измерению.

Разумно предположить, что плоскость фотоприемника в таком приборе должна в точности совпадать с фокальной плоскостью изображающей оптической системы в случае, если из наблюдений либо измерений записанного изображения следует, что глубина модуляции на высоких пространственных частотах достигает максимума. Это означает, что незначительное смещение плоскости вызовет ухудшение фокусировки. Другие изображения, добавляемые к зарегистрированному, могут рассматриваться как помехи, препятствующие распознаванию изображения.

Пусть сфокусированная картина представляет собой изображение тест-таблицы с определенной, достаточно высокой пространственной частотой. Это сфокусированное изображение может быть записано с глубиной модуляции  $M_1$ . Одновременно мы записываем несфокусированное изображение тест-таблицы с той же пространственной частотой, но сдвинутое на полпериода по отношению к сфокусированному изображению, как показано на рисунке 2.

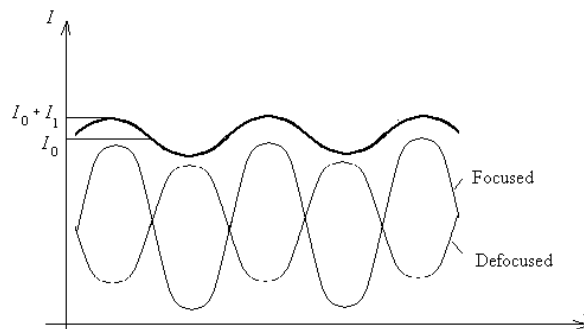


Рис. 2. К методу измерения разрешающей способности по z-измерению

Такая запись сфокусированного и дефокусированного изображений может быть осуществлена, если эти изображения сформированы светом разных длин волн. При этом благодаря хроматической аберрации линзы фокальные плоскости для этих изображений расположены в различных местах.

Очевидно, что дефокусированное изображение записывается с глубиной модуляции  $M_2$ , причем  $M_1 < M_2$ . Сумма двух кривых показана на рисунке 3 жирной линией. Полную интенсивность света можно представить как

$$I_t = I_0 + I_1 \cos \Omega x, \quad (1)$$

где  $I_0$  и  $I_1$  показаны на рисунке 2, а  $\Omega$  – круговая пространственная частота изображения на тест-таблице. Легко видеть, что глубина модуляции всей картины  $M_t = I_1/I_0$  существенно меньше, чем  $M_1$ .

Критерий разрешающей способности по оси z подразумевает, два положения фокуса на этой оси разрешимы, если глубина модуляции превышает некоторую величину. Если мы хотим применить к этой ситуации критерий Рэлея, то разумно предположить, что эта величина постоянна и составляет, к примеру, 20%. Однако на практике эта величина оказывается различной для различных условий эксперимента и требований задачи. По нашему мнению, наиболее адекватным критерием разрешающей способности по оси z является такая величина глубины модуляции, которая позволяет распознать данную пространственную частоту тест-таблицы с вероятностью, задаваемой условиями задачи. Это

означает, что необходимо измерить отношение сигнал/шум (ОСШ) и рассчитать, какая величина ОСШ соответствует заданной вероятности распознавания сигнала.

Измерить ОСШ можно следующим образом. Необходимо многократно измерить величины  $I_0$  и  $I_1$ , а затем рассчитать средние величины и среднеквадратичные отклонения. ОСШ можно будет вычислить как

$$SNR = \frac{I_1}{\sigma_0}, \quad (2)$$

где  $SNR$  – ОСШ, а  $\sigma_0$  – среднеквадратичное отклонение для  $I_0$ .

Такой подход был реализован экспериментально. Эксперименты включали в себя определение диапазона сканирования фокусом по оси  $z$  и определение пространственной разрешающей способности вдоль этой оси. В эксперименте использовались стандартные миры и юстировочные элементы. Линзы с сильной хроматической аберрацией были специально изготовлены из монокристаллов диоксида теллура  $TeO_2$ . Выходное изображение фокусировалось на входном окне ПЗС-камеры. Экспериментальные данные сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты измерений разрешающей способности по оси  $z$

Границы диапазона длин волн, мкм		Радиус линзы, мм	Показатели преломления для граничных значений длин волн		Диапазон сканирования положением фокуса, мм	Число разрешимых положений фокуса
$\lambda_1$	$\lambda_2$		$\lambda_1$	$\lambda_2$		
0,48	0,80	10	2,337	2,226	0,67	50
0,40	0,63	88	2,432	2,260	8,38	50
0,63	0,64	15	2,260	2,256	0,03	3
0,8	1,0	10	2,226	2,208	0,12	20

Таким образом, короткофокусные линзы с размерами радиусов 10 и 15 мм обеспечивают разрешение в десятки микрон в видимом диапазоне. С точки зрения профилометрии это можно считать удовлетворительным для исследования сильно шероховатых поверхностей, но непригодным для изучения профилей дифракционных голографических элементов.

Итак, число степеней свободы, связанное с третьим измерением, играет столь же, а иногда и более важную роль с точки зрения информационных возможностей систем, чем другие пространственные степени свободы.

В процессе работы рассмотрена и проанализирована концепция оптических степеней свободы и их связь с общим объемом информации, обрабатываемой оптической или оптико-электронной системой.

Рассмотрены отдельные виды оптических степеней свободы, в том числе пространственные степени свободы по координатам  $x$ ,  $y$ , и  $z$ , а также спектральные степени свободы – по длине волны. Предложены критерии разрешения оптических систем по этим координатам, которые позволяют связывать число степеней свободы, объем обрабатываемой информации и физико-технические характеристики систем.