**Метод детального расчета поля в дальней зоне дифракции, создаваемого дифракционными оптическими элементами**

**Аглаев А.А.1, Попов В.В.2**

1студент, 2с.н.с. кафедры общей физики

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,

физический факультет, Москва, Россия

E–mail: andrey.a.aglaev@gmail.com

В области управления лазерным излучением в последнее время все чаще применяются пассивные дифракционные оптические элементы (ДОЭ), создающие заданное изображение на поверхности или в дальней зоне. Это связано как с улучшением технологии их создания, так и с развитием методов решения обратной задачи расчета фазовой функции таких оптических элементов. Весьма эффективными и популярными являются итеративные методы расчета, основанные на алгоритме Герчберга-Сэкстона (Г.-С.) [1] и его модификациях, собранных в [2].

Основным недостатком этих методов является то, что расчет заданного изображения и его оптимизация идет в дискретном наборе NxN точек, из-за чего метрика оптимизируется только по этому набору точек, в то время как в остальных точках значение поля может сильно отличатся от желаемого, т.е. возникает спекл-структура в изображении. Поскольку стандартные методы не дают возможности счета поля между точками, метрики сходимости алгоритмов выглядят достаточно хорошими, но при более детальном расчете (например, с двойной точностью) реальная ошибка может вырасти в разы, как будет показано ниже. Поэтому при расчете ДОЭ для их последующего использования важно иметь реальную картину распределения интенсивности, в том числе и между точками. Как известно, переход из входной области в выходную описывается Фурье-преобразованием [3]. Поскольку задача решается численно, то производится переход к DFT (дискретному Фурье-преобразованию), а точнее, к FFT (быстрому Фурье-преобразованию), поскольку сложность вычисления двумерного FFT в $\left({N}/{log\_{2}N}\right)^{2}$ меньше. Однако, для возможности применения FFT необходимо, чтобы «коэффициенты поворота» (twiddle factor) имели определённый вид, что накладывает связь на «шаг» во входной области (ДОЭ) и «шаг» в выходной области (изображении). Из-за чего возникают трудности со счётом «промежуточных точек», точек, находящихся между стандартным набором углов, формируемым FFT, в то же время прямой счёт DFT, на практике, мало пригоден к использованию, поскольку имеет слишком большую сложность.

В данном докладе представлен оригинальный метод расчета промежуточных точек, основанный на добавлении к фазе оптического элемента линейной фазовой функции, смещающей конечное изображение на угол между двумя соседними точками. На его основе проведен расчет поля между соседними точками для задачи расчета оптического элемента, создающего прямоугольную область с постоянной засветкой и массив пучков одинаковой интенсивности, также проанализировано влияние близости соседних точек.

Введём следующую метрику сходимости:

Невязка - $R\_{1}=\frac{\sum\_{k\_{1}=0}^{N-1}\sum\_{k\_{2}=0}^{N-1}\left|I\left(k\_{1},k\_{2}\right)\_{target}-I\left(k\_{1},k\_{2}\right)\_{real}\right| }{2\sum\_{k\_{1}=0}^{N-1}\sum\_{k\_{2}=0}^{N-1}I\left(k\_{1},k\_{2}\right)\_{target}}$ (метрика, характеризующая отношение неэффективно распределённой энергии, к максимально неэффективному распределению)

Квадратичная невязка - $R\_{2}=\frac{\sum\_{k\_{1}=0}^{N-1}\sum\_{k\_{2}=0}^{N-1}\left(I\left(k\_{1},k\_{2}\right)\_{target}-I\left(k\_{1},k\_{2}\right)\_{real}\right)^{2}}{N^{2}}$ («общепринятая метрика», более эффективно чем линейная, выявляющая выбросы)

Тогда, на примере прямоугольной области постоянной засветки, ДОЭ, которой был рассчитан с помощью алгоритма Г.-С..

В таком случае:

Для ДОЭ, посчитанного 100 итерациями алгоритма Г.-С.:

По стандартному набору точек: $R\_{1}=8.8\%,R\_{2}=0.68\% $ (Рис.1, а)

По детализированному набору (с 9тью промежуточными точками): $R\_{1}=30.4\%,R\_{2}=11.5\%$ (Рис.1, б)

Рис.1

а) б)

Таким образом, можно сделать вывод, о том, что разработанный алгоритм позволяет исследовать промежуточные точки при помощи FFT и за счет этого быстро (в $\left({N}/{log\_{2}N}\right)^{2}$ быстрее, чем с помощью DFT) рассчитывать детализированную картину дифракции.

**Литература**

1. Gerchberg R.W., Saxton, W.O. A practical algorithm for the determination of phase from image and diffraction plane pictures. // *Optik* **1972**, *35*, 237–246.
2. Под ред. В.А. Сойфера. – Методы компьютерной оптики – М.: Физматлит, 2000.
3. Гудмен Дж. – Введение в Фурье-оптику. – М.: Мир, 1970.