

Новый подход к решению обратной задачи дифракции

Горбатенко Борис Борисович, доктор физ. – мат. наук, доцент

Горбунова Юлия Владимировна, студент

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Введение

Обратная задача дифракции состоит в нахождении свойств источника или рассеивающего объекта по данным регистрируемого излучения. Разработка методов решения подобного рода задач представляет фундаментальный как практический, так и теоретический интерес. Чтобы оценить актуальность данной проблематики достаточно кратко перечислить те области науки и техники в которых прогресс непосредственно связан с решением обратных задач дифракции: оптика [1], радиолокация [2], геофизика [3], астрономия [4] и т.д. Регистрация рассеянного излучения заключается, как известно, в определении в каждой его точке двух параметров – амплитуды и фазы. В этом случае решение обратной задачи является хотя, в ряде случаев, и сложной, но точно решаемой математической задачей. Такая регистрация представляется возможной в длинноволновой части электромагнитного спектра, для акустических волн, но принципиально невыполнима в оптической части электромагнитного спектра, где фиксируется только интенсивность или, что равносильно, амплитуда рассеянного поля. В таком случае обратная задача дифракции переходит в разряд некорректных математических задач. Т. е. задач либо не имеющих решения, либо имеющих бесчисленное их множество. Естественно, что решение подобных задач выливается в особую проблему. Применительно к электромагнитному излучению вследствие выше приведенной привязке к частотному диапазону она иногда называется «фазовой проблемой в оптике». Существует множество подходов к решению некорректных задач, однако их объединяет одно общее ограничение: они применимы лишь в частных, специально оговоренных случаях.

Восстановление изображения объекта с помощью голограммоподобного оптического элемента

В том случае, когда рассеивающий шероховатый объект освещается когерентным светом (например лазерным пучком), дифракционное распределение интенсивности в дальней зоне представляет собой спекл-структуру. Если поместить в этой зоне какое-либо регистрирующее устройство (фотопластинку, ПЗС матрицу и т.п.) то и получим в виде спеклограммы исходные данные для решения сформулированной выше задачи.

Следует отметить, что направив на регистрирующее устройство опорный пучок, мы в виде голограммы зарегистрируем результат его интерференции с рассеянным полем (рис.1).

Голограмма фиксирует полное амплитудно-фазовое распределение рассеянного поля и позволяет однозначно восстановить исходное изображение объекта.

В работах [5,6] показано, что для рассеивающих объектов обладающих вращательной симметрией

четного порядка (квадрат, шестиугольник, эллипс и т.п.) в дальней зоне дифракции в плоскости, перпендикулярной направлению распространения излучения, случайная составляющая разности фаз в различных точках поля, создаваемого идеальным δ -коррелированным источником излучения, может принимать только два равновероятных значения – 0 и π радиан.

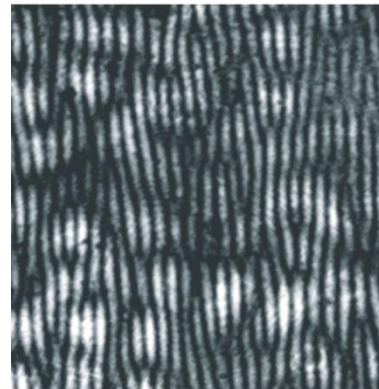


Рис.1. Фрагменты реальной голограммы рассеивающего объекта.

Данное обстоятельство позволило разработать метод восстановления изображения с использованием спеклограммы. Пусть в эксперименте записывается цифровая Фурье-спеклограмма без использования опорного пучка света. Затем, с использованием графических цифровых технологий в этом распределении интенсивности в пределах спеклов наносятся искусственные интерференционные полосы с произвольным периодом. При этом обеспечивается сдвиг полос на полпериода при переходе от одного спекла к соседнему. Таким образом, восстанавливается информация о фазовом пространственном распределении в объектном поле, и получается, так называемая, искусственная Фурье-голограмма.

Аналоговое или цифровое Фурье-преобразование искусственной голограммы приводит к формированию изображения объекта (Рис.2).

Следует ещё раз подчеркнуть, что данный метод решения обратной задачи дифракции подходит только объектам, обладающим вращательной симметрией четного порядка. Для них автокорреляционная функция рассеянного поля в дальней зоне дифракции является действительной и знакопеременной в любом направлении. Для рассеивающих объектов не удовлетворяющих этим условиям в самом общем случае такой подход не применим.

Однако, для объектов с вращательной симметрией нечетного порядка свойство действительности и знакопеременности проявляется для направлений перпендикулярных оси зеркальной симметрии. Для равностороннего треугольника это, например, направление параллельное его стороне (рис. 3) [8].

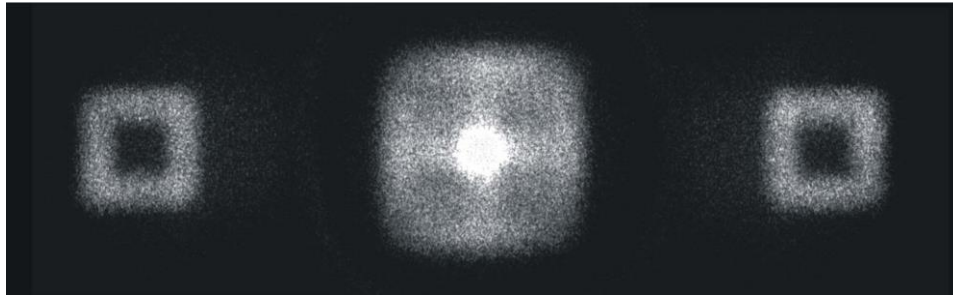


Рис. 2. Автокорреляционное гало и изображения, восстановленные с Фурье-голограммы.

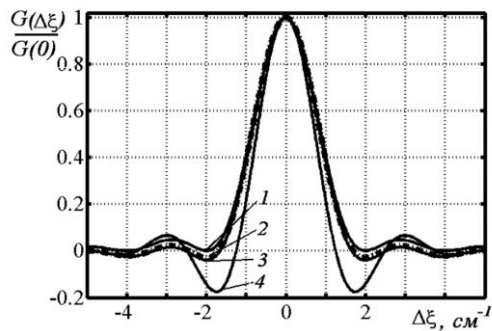


Рис. 3. Нормированные корреляционные функции комплексной амплитуды спекл-поля при $\Delta\eta = 0$ для источников с апертурами в форме: 1) – треугольника; 2-4) – кольцевого треугольника; $a=10$ мм; отношение a/b равно: 2) – 4; 3) – 2; 4) – $4/3$.

Данное обстоятельство позволяет распространить метод создания искусственного голограммоподобного дифракционного элемента для восстановления изображения объектов, обладающих вращательной симметрией нечетного порядка. Очевидно, что квазиинтерференционные полосы при формировании такого элемента следует наносить только в указанных выше направлениях.

При экспериментальной реализации такого подхода был получен искусственный голограммоподобный транспарант (Рис. 4)

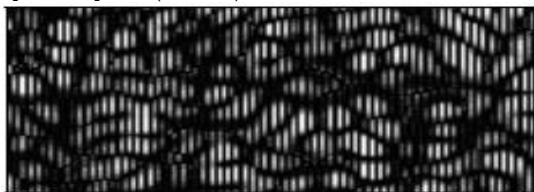


Рис. 4. Искусственный голограммоподобный транспарант.

Литература:

1. Фидирко Н.С., Волотовский С.Г. Решение обратной задачи дифракции в условиях острой фокусировки на основе итерационного алгоритма // Computational nanotechnology. – 2016. – №4. – С. 28-31;
2. А. Н. Зубарев, А. А. Лучин, А. К. Строев. Синтез многомерных изображений в многопозиционной системе РЛС на основе обобщенного решения обратной задачи дифракции в приближении физической оптики // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика.. – 2013. – №8. – С. 117-120;
3. Марчук А.Г. Восстановление полного поля по его амплитуде. Сб. Некорректные математические задачи и проблемы геофизики // из-во ВЦ СО АН СССР. – 1976. – С. 130-134;
4. А.А. Кочанов, А.Г. Обухов, Д.В. Просоветский Методы восстановления изображений и распознавание образов в радиоастрономии // Солнечно-земная физика. – 2010. – №16. – С. 154-161;
5. Горбатенко Б.Б., Клименко И.С., Максимова Л.А., Рябухо В.П. Статистические свойства пространственного распределения фазы развитого спекл-поля // Письма в ЖТФ, 1992. – Т. 18. – В. 2. – С. 26-28;

Фурье-преобразование функции пропускания данного транспаранта позволяет достаточно узнаваемо восстановить форму исходного объекта в виде кольцевого треугольника (Рис. 5).

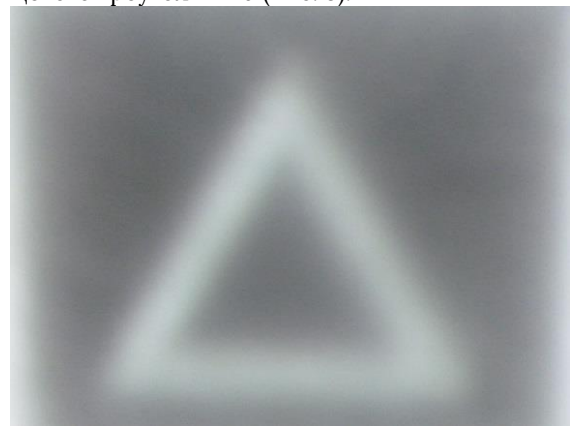


Рис. 5. Восстановленное изображение треугольника.

Заключение

Теоретически [9] и экспериментально доказано, что метод решения обратной задачи дифракции в условиях регистрации интенсивности, предложенный для объектов обладающих вращательной симметрией четного порядка, может быть распространен на объекты обладающие вращательной симметрией нечетного порядка. При этом, однако, приходится жертвовать произвольностью направления нанесения искусственных квази интерференционных полос.

Данное ограничение еще раз подчеркивает то обстоятельство, что решение некорректных задач возможно только в частных случаях, с скрупулезным учетом их особенностей.



www.esa-conference.ru

6. Горбатенко Б.Б., Клименко И.С., Максимова Л.А., Рябухо В.П. О некоторых статистических свойствах разности фаз в развитом спекл-модулированном поле // Оптика и спектроскопия, 1995. – Т. 78. – В. 2. – С. 316-319;
7. Гудмен Дж. Введение в фурье-оптику- пер. с англ. . – М.: Мир, 1970. – 364 с.
8. Мысина Н.Ю., Максимова Л.А., Горбатенко Б.Б., Рябухо В.П. Пространственные корреляции и плотность распределения вероятности разности фаз развитого спекл-поля: численный и натурный эксперименты // Квантовая электроника. – 2015. – №10. – С. 979-988.
9. Б.Б. Горбатенко, А.А. Морозова Метод решения обратной задачи дифракции в условиях регистрации интенсивности // Технологические измерения в науке и технике: сборник статей Международной научно-практической конференции, 1 апреля УДК 001.1 ББК 60 © ООО «АЭТЕРНА», 2018 © Коллектив авторов, 2018 г, г. Самара). – Уфа: АЭТЕРНА, 2018. – 86 с.