

**А. А. Пахомов, А. А. Потапов** (Москва, ИРЭ РАН). **Обратные задачи и распознавание малоконтрастных образов.**

Развитие математических моделей данного класса задач и создание эффективных методов их исследования неразрывно связано с именем академика А. Н. Тихонова [1]. Работа, представленная данным сообщением, посвящена дальнейшему развитию математической теории некорректных обратных задач в астрономии, оптике и радиофизике, а также методам обработки и восстановления изображений по неполной информации об его Фурье-спектре. Эта задача является частью общей задачи устранения влияния атмосферных и оптических искажений при обнаружении и регистрации с Земли удаленных объектов на большой дальности при плохих метеоусловиях.

К числу оптических искажений относятся смазы и расфокусировки по дальности, а к числу атмосферных искажений — туман, сумерки, восходящие атмосферные потоки и турбулентная атмосфера Земли [2], [3]. Большой интерес также представляют слабые астрономические изображения от удаленных космических объектов, которые представляют собой фактически поток фотонов, где на один кадр приходится от десяти до сотни фотонов. Конечным этапом задачи обработки является автоматическое распознавание изображения или интересующего объекта.

В данной работе для распознавания выделяются векторы-признаки или наиболее информативные участки изображения. Фактически данная работа, как указано выше, является продолжением классических исследований академика А. Н. Тихонова, которые известны в науке как Тихоновская регуляризация. С математической точки зрения, большинство подобных задач представляет собой систему уравнений типа свертки.

Обобщая идеи А. Н. Тихонова на современном уровне, для решения подобных задач нами был использован новый подход, основанный на последовательном улучшении оценки изображения путем согласования ее с имеющейся априорной информацией о неискаженном изображении [3]. При этом согласование с априорной информацией математически записывается в виде операторов проекции на соответствующие множества. Сами алгоритмы восстановления неискаженного изображения представляют собой последовательность операторов проекции, причем если соответствующие множества выпуклы, то подобные процедуры сходятся к истинному решению. Анализ однозначности решения подобных некорректных задач требует привлечения аппарата меры Лебега для анализа математической вероятности постороннего решения. При этом в двумерном и многомерном случаях подобные задачи, как правило, решаются однозначно, а в одномерном случае имеют счетное множество решений.

Представляет интерес также установление аналитической связи между компонентами Фурье-спектра, например, модулем и фазой, как в одномерном, так и в двумерном случае. Подобная взаимосвязь известна под названием *преобразований Гильберта*, которые ранее были получены только для одномерного случая. В докладе проведено обобщение уравнений Гильберта на двумерный непрерывный и дискретный случаи. Также выявлены условия однозначного аналитического решения ряда некорректных задач.

Представлены экспериментальные результаты по обработке изображений, полученных на ряде крупных телескопов России. Работа отражает более чем 20-летний опыт авторов по эксплуатации, созданию методик аттестации и обработки изображений, зарегистрированных на крупных телескопах [3]. Также рассмотрены избранные примеры обработки реальных изображений объектов в песчаной буре и туманах авторскими методами, изложенными в докладе (см. ниже серии рисунков).

Рис. 1. Обработка авторских цветных изображений Каира во время песчаной бури (слева исходные, справа обработанные изображения)

Рис. 2. Обработка цветных изображений района Москвы (Строгино) во время тумана (слева исходные, справа обработанные изображения)

Отметим, что методология современного применения перспективных фрактальных методов обработки сверхслабых сигналов, малоконтрастных изображений и полей подробно изложена в монографиях [3], [4].

Из приведенных результатов можно сделать следующие выводы. 1. Решена важная задача устранения амплитудного смаза, дефокусировки, фазового смаза и т. д. Разработан общий регуляризирующий подход для решения таких задач при неизвестных параметрах искажений. Проведены многочисленные успешные экспериментальные исследования по обработке реальных изображений. 2. Предложен новый метод обработки короткой серии ярких космических изображений для объектов, быстро меняющих свой ракурс. Программное обеспечение прошло испытания при сдаче ряда комплексов и принято заказчиком. Данный метод позволяет устранить не только влияние атмосферы, но и остаточные аберрации оптического регистратора. 3. Рассмотрена задача оптимизации методов обработки очень слабых астрономических изображений в режиме счета фотонов и проведено испытание программного комплекса на реальных изображениях. 4. Впервые предложены оригинальные цифровые методы обработки, позволяющие устранить нелинейный аддитивный фон. Подобные методы пригодны для подводных работ и при повышении безопасности полетов в условиях тумана. 5. Предложены и программно реализованы новые методы стереосинтеза и обработки стереопар. При помощи таких методов можно уверенно восстанавливать трехмерные изображения по их плоским проекциям. 6. Предложен новый тип вектор-признака, обеспечивающий почти 90%-ю вероятность правильного распознавания неизвестного трехмерного изображения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 05-07-90349в, 07-07-07005д, 07-07-12054, 07-08-00637а).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1974, 222 с.
2. Обратные задачи в оптике. / Под ред. Г. П. Болтса. М.: Машиностроение, 1984, 200 с.

- 
3. *Потапов А.А., Гуляев Ю.В., Никитов С.А., Пахомов А.А., Герман В.А.* Новейшие методы обработки изображений. / Под ред. А. А. Потапова. М.: Физматлит, 2008, 496 с.
  4. *Потапов А. А.* Фрактальные методы исследования флуктуаций сигналов и динамических систем в пространстве дробной размерности. — Глава в кн.: Флуктуации и шумы в сложных системах живой и неживой природы. / Под ред. Р. М. Юльметьева и др. Казань: Министерство образования и науки Республики Татарстан, 2008, с. 257–310.