

### *АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ*

- [Воскобойников Ю. Е., Втюрин К. А., Литасов В. А. Дескриптивный алгоритм восстановления входных сигналов оптических систем](#) 3
- [Удод В. А. Об одном подходе к аподизации приемников изображений](#) 11
- [Хафизов Р. Г., Хафизов Д. Г. Распознавание групповых точечных объектов на основе представления в собственной системе отсчета кватернионных сигналов](#) 19
- [Вьюхин В. Н. Коррекция погрешностей в цифровых измерительных системах с параллельными каналами](#) 31

### *МОДЕЛИРОВАНИЕ В ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ*

- [Медведев Ю. Г. Метод моделирования трехмерных потоков жидкости клеточными автоматами](#) 37
- [Вяткин С. И., Долговесов Б. С. Визуализация полупрозрачных объектов на базе функций возмущения и прозрачности](#) 49
- [Гридин В. А., Бялик А. Д. Математическое моделирование мембранных чувствительных элементов амплитудных волоконно-оптических датчиков давления](#) 56
- [Трофимов О. Е. Алгоритм построения виртуальных рентгеновских проекций](#) 64
- [Булыгин Ф. В. Особенности спектротомографии в четырехмерном пространстве](#) 70

### *ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕМЕНТЫ И СИСТЕМЫ*

- [Косцов Э. Г., Истомин В. Е. Управление поглощением микроволнового излучения в тонкопленочной структуре сверхпроводник-сегнетоэлектрик](#) 80
- [Козлов А. И., Марчишин И. В., Овсяк В. Н., Шашкин В. В. Кремниевые мультиплексоры для многоэлементных фотоприемников ИК-диапазона](#) 88
- [Буяров С. А., Галушкин М. Г., Голубев В. С., Гришаев Р. В., Дубров В. Д., Завалов Ю. Н., Панченко В. Я. Оптическая диагностика турбулентного потока прокачанного газового лазера на основе метода обращения волнового фронта](#) 100
- [Бикмухаметов К. А., Дмитриев А. К., Чепуров С. В. Измерения оптических частот и длин с помощью фемтосекундного лазера](#) 108

### *КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ*

- [Белоусов П. П., Белоусов П. Я., Дубнищев Ю. Н. Землетрясение в Индийском океане и геодинамические возмущения в г. Новосибирске](#) 115
- [Алексеев В. Г. О допустимых непараметрических оценках плотности вероятности](#) 118
- [Ильиных С. П., Гужов В. И., Кафилова Н. Е., Бочаров Д. Д. Робастный алгоритм расшифровки интерферограмм](#) 122

## АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ

УДК 621.391

Ю. Е. Воскобойников, К. А. Втюрин, В. А. Литасов

(Новосибирск)

ДЕСКРИПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Предлагается новый алгоритм построения регуляризованного решения интегрального уравнения I-го рода с разностным ядром. Показано, что такой алгоритм позволяет учитывать различную априорную информацию об искомом решении (неотрицательность, возрастание, убывание и т. д.) и что использование дискретного преобразования Фурье и алгоритма быстрого преобразования Фурье существенно (на 2–3 порядка) уменьшает число операций по сравнению с известными алгоритмами. Эффективность предлагаемого алгоритма иллюстрируется решением обратной задачи спектроскопии.

**Введение.** Многие измерительные оптические системы могут быть представлены интегральным уравнением I-го рода с разностным ядром вида

$$\int_{a_{\varphi}}^{b_{\varphi}} k(t-\tau)\varphi(\tau)d\tau = f(t), \quad a_f \leq t \leq b_f, \quad (1)$$

где  $k(t)$  – аппаратная функция. Задача восстановления входного сигнала заключается в решении уравнения (1) относительно функции  $\varphi(\tau)$ . Такая задача относится к некорректно поставленным [1, 2], и основная трудность ее решения обусловлена слабой устойчивостью получаемого (обычными методами) решения к погрешности  $\eta(t)$  задания правой части, когда вместо точной правой части  $f(t)$  известна зашумленная функция  $\tilde{f}(t) = f(t) + \eta(t)$ . Для построения устойчивых решений используются различные линейные методы регуляризации [1–4], в которых в той или иной форме задается априорная информация о «гладкости» функции  $\varphi(\tau)$ . В ряде случаев имеется априорная информация о значениях или поведении функции  $\varphi(\tau)$ , например: а) функция  $\varphi(\tau)$  неотрицательна на заданных интервалах аргумента  $\tau$ ; б) функция  $\varphi(\tau)$  монотонно возрастает или монотонно убывает на заданных интервалах аргумента  $\tau$ . Учет такой «качественной» априорной информации, возможно, позволил бы получить регуляризованное решение, адекватное априорным ограничениям на функцию  $\varphi(\tau)$ .

Существует несколько подходов к построению алгоритмов решения операторных уравнений I-го рода, учитывающих априорную информацию о функции  $\varphi(\tau)$ . Эти алгоритмы получили название дескриптивных регуляризирующих алгоритмов. Первый подход используется в случаях, когда ограничения на функцию  $\varphi(\tau)$  определяют в пространстве решений компактное множество, на котором (при определенных условиях) обратный оператор задачи непрерывен, а, следовательно, получаемое решение устойчиво к погрешностям задания правой части [5]. Такими ограничениями могут являться требования выпуклости или монотонности и выпуклости функции  $\varphi(\tau)$ .

К сожалению, имеющаяся на практике априорная информация (например, условие неотрицательности  $\varphi(\tau)$ ) не гарантирует принадлежность  $\varphi(\tau)$  компактному множеству. В этом случае обращаются ко второму подходу, когда регуляризированное решение определяется из условия минимума сглаживающего функционала с учетом ограничений, задаваемых системой неравенств (в общем случае нелинейных). Если система ограничений линейна и сглаживающий функционал является квадратичным, то решается задача квадратичного программирования [6]. Различные алгоритмы решения этой задачи (метод проекции градиента, метод условного градиента и т. д.) требуют значительного числа вычислительных операций, что при большой размерности дискретного аналога уравнения (1) приводит к существенным трудностям вычислительного характера. Поэтому целью данной работы является построение эффективного дескриптивного регуляризирующего алгоритма восстановления сигналов, учитывающего:

- а) разностный характер ядра интегрального уравнения (1);
- б) априорную информацию о значениях функции  $\varphi(\tau)$  (или ее производной) в узлах дискретизации, задаваемую системой линейных неравенств.

Однако вначале приведем основные соотношения линейного регуляризирующего алгоритма, необходимые для построения дескриптивного регуляризирующего алгоритма восстановления сигналов.

**Линейный регуляризирующий алгоритм.** Разностный характер ядра интегрального уравнения (1) обуславливает применение дискретного преобразования Фурье (ДПФ) и алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ) для построения эффективного (по количеству вычислительных операций) регуляризирующего алгоритма [3, с. 174]. Для этого бесконечномерное уравнение (1) аппроксимируют конечномерным дискретным аналогом вида

$$\sum_{j=0}^{N_{\varphi}-1} k_{i-j} \varphi_j \Delta_t = \tilde{f}_i, \quad i=0, \dots, N_f-1, \quad (2)$$

где  $\Delta_t$  – шаг дискретизации функций  $\varphi(\tau), f(t)$ ;  $N_{\varphi}, N_f$  – размерность векторов  $\varphi, f$ , полученных в результате проведенной дискретизации. Шаг  $\Delta_t$  выбирают таким, чтобы ошибка квадратурной формулы (2) была мала по сравнению с погрешностью  $\eta(t)$  задания правой части уравнения (1).

Предположим, что:

1. Функция  $\varphi(\tau)$  финитна и вне интервала  $[a_{\varphi}, b_{\varphi}]$  обращается в нуль. Тогда  $N_{\varphi} = \text{ent}[(b_{\varphi} - a_{\varphi})/\Delta_t]$ , где  $\text{ent}[z]$  – целая часть числа  $z$ .
2. Функция  $k(\tau)$  финитна и вне интервала  $[a_k, b_k]$  обращается в нуль. Тогда  $N_k = \text{ent}[(b_k - a_k)/\Delta_t]$ .