



## Применения методов градиентной морфологии

Терентьев Е.Н., Алешин П.Е., Балабан Е.Д., Романов Д.Р., Шацков И.А.

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Методы Градиентной Морфологии (ГМ) основываются на Конечной-Мерной Теореме Отсчетов (КМТО). В работе приводятся реализации методов ГМ, кратко рассматриваются модели векторных шаблонов искомым объектов и необходимость отфильтровывания одиночных точек в изображении.

### Базис Фурье, КМТО

Рис. 1.

1D КМТО [3-6] — Дано: строка отсчетов  $D = f(x_0)$  и две матрицы (Базис Фурье)  $H = H^{(0)}(x_0)$  и (Фурье гармоники)  $H^{(n)}(x)$ , тогда при  $n = 0$  “непрерывная” функция  $f^{(n)}(x) = (HD^*)' H^{(n)}(x)$ ,  $dx < 1$  проходит через точки отсчетов  $D = f(x_0) = f^{(0)}(x_0)$ .

Операции математического анализа и теории поля сводятся к операциям над Фурье гармониками  $H^{(n)}(x)$ : при  $n > 0$  в  $f^{(n)}(x)$  реализуем дифференцирование  $n$ -го порядка и при  $n < 0$  — интегрирование  $n$ -го порядка от массива чисел  $D$ , заметим,  $n$  может быть не целым.

### Общая схема метода

Рис. 2.

КМТО позволяет вычислять частные производные от массивов чисел, в частности вычислять гра-

диентное поле  $B = \text{grad } P$  от изображения — светлое кольцо на темном фоне, см. Рис. 1 слева.

### ГМ в дискретной теории поля

Рис. 3 и 4.

В этом разделе рассмотрим красивую учебную задачу оценивания положения оси 3D вихря без применения шаблонов. Реальные 2-3D задачи намного сложнее: в области “глаза вихря”, где  $\text{SNR} \sim 0/0$ . Шаблоны в  $\text{SNR}(f|X)$  нужны для ухода от неопределенностей и упрощения задач. В данном разделе векторное поле  $P = \{P_x, P_y, P_z\}$  три 3D массива чисел.

### Оценивание пожаров с дымовыми шлейфами

Рис. 5.

Для оценивания фронтальных и очаговых пожаров применяются другие шаблоны.

### Пример, когда для объекта не очевиден выбор шаблона

Рис. 6.

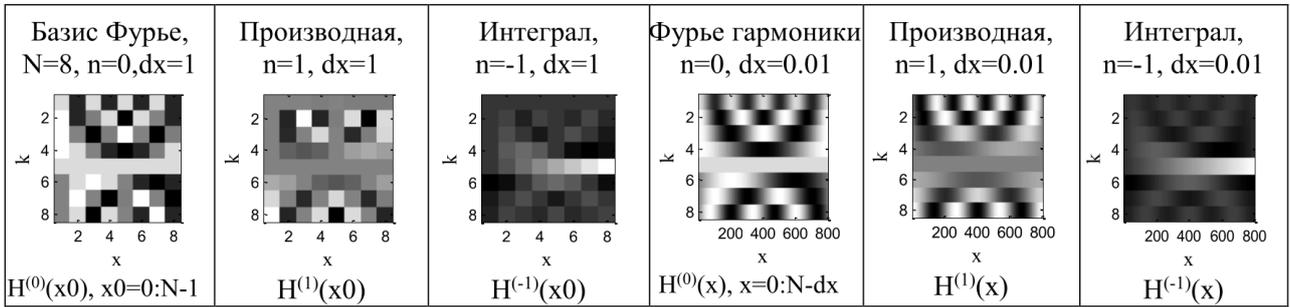


Рис. 1. Пример базиса Фурье с операциями дифференцирования и интегрирования в дискретном  $dx = 1$  и с интерполяцией – в “непрерывном”  $dx = 0.01$  случаях

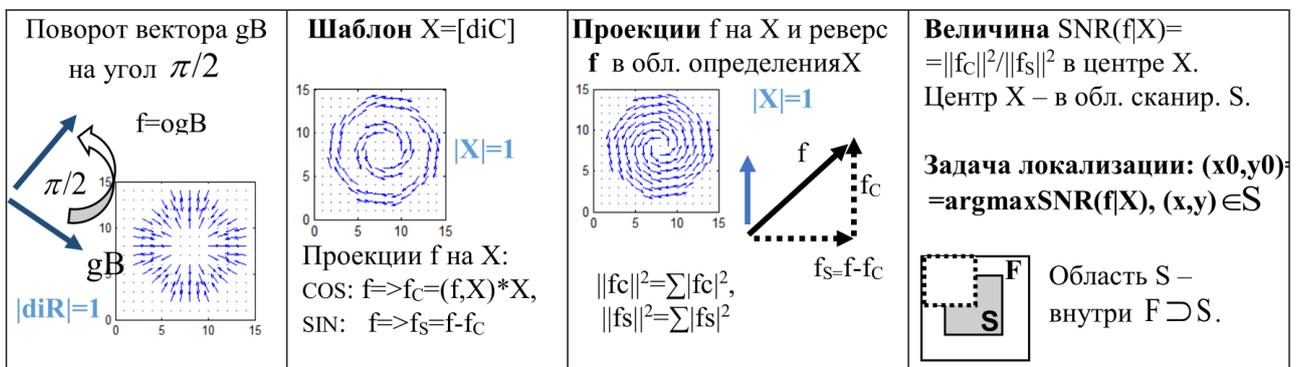


Рис. 2. Операции над векторными полями, шаблоны, проекции, функция SNR и постановка задачи локализации (шаблона  $X$ ) объекта

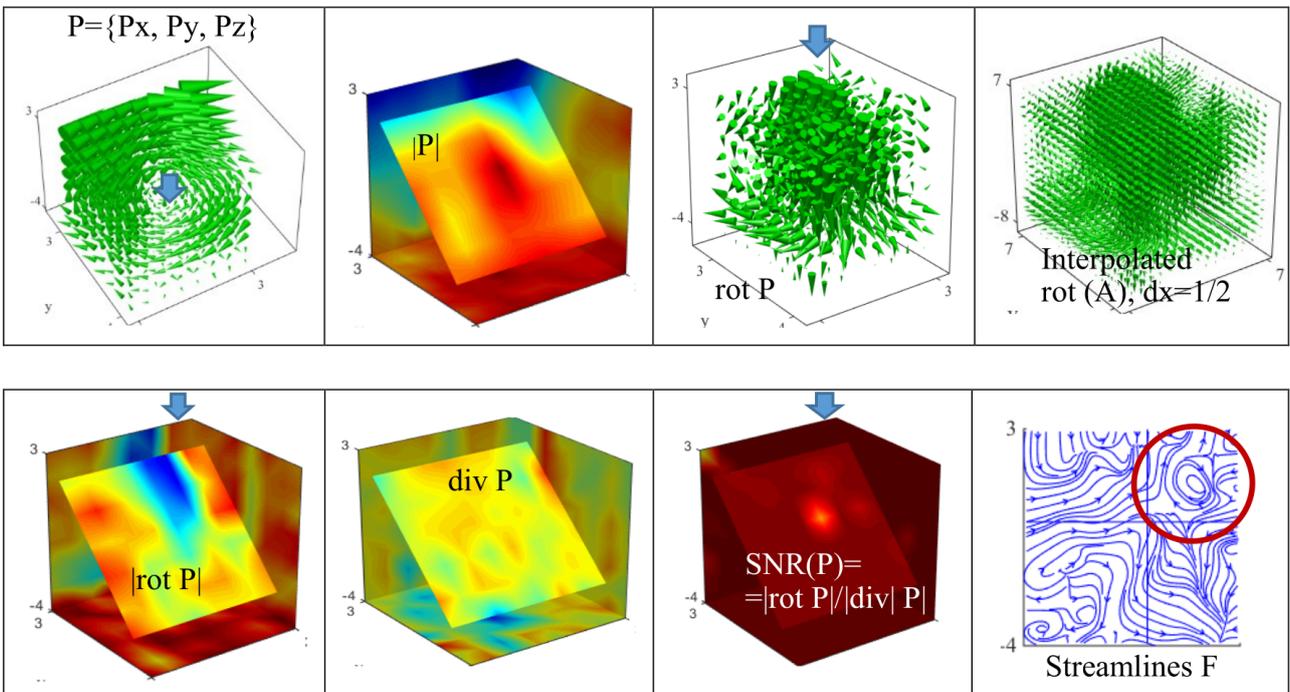


Рис. 3. Ось вращения хорошего-безглазого вихря выявляется с помощью отношения Сигнал/Шум из  $(x_0, y_0, z_0) = \text{argmax} SNR(P), SNR(P) = |rot P| / |div P|$

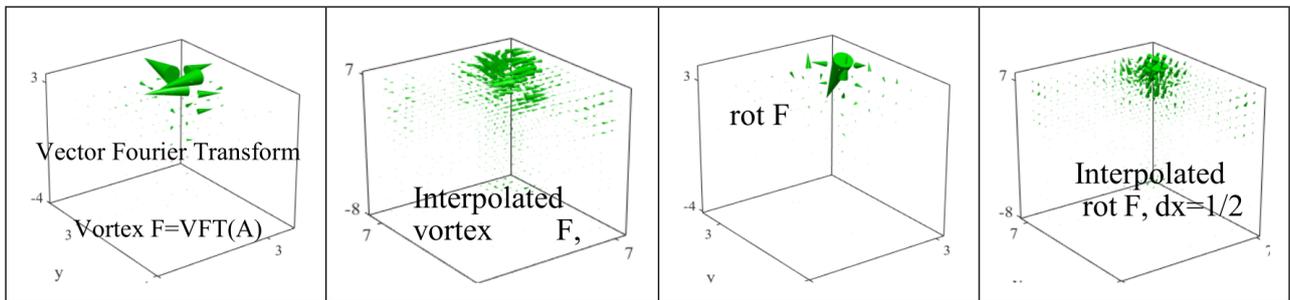


Рис. 4. Оказывается вихрь остается вихрем и в низкочастотной области

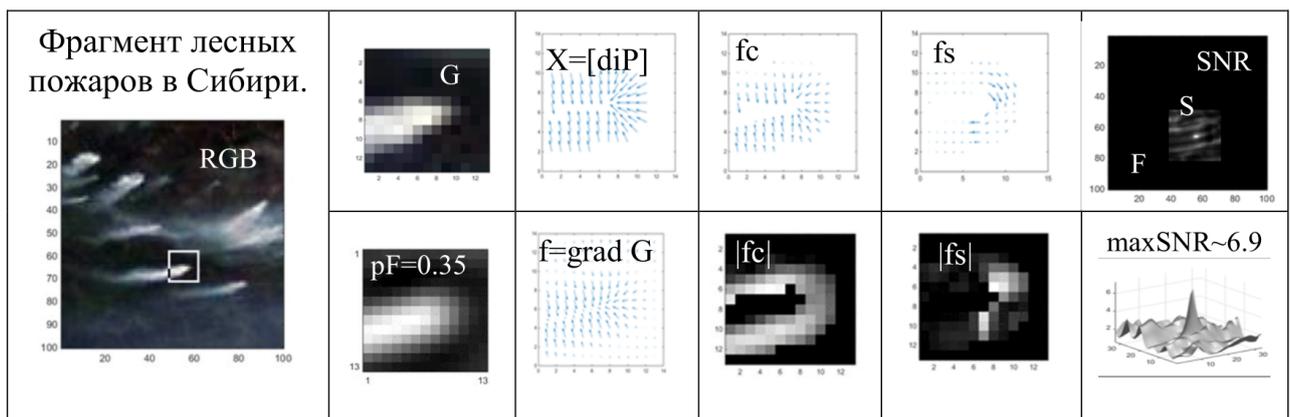


Рис. 5. Пример оценивания пожара с дымовым шлейфом в Сибири,  $pF = 0.35$

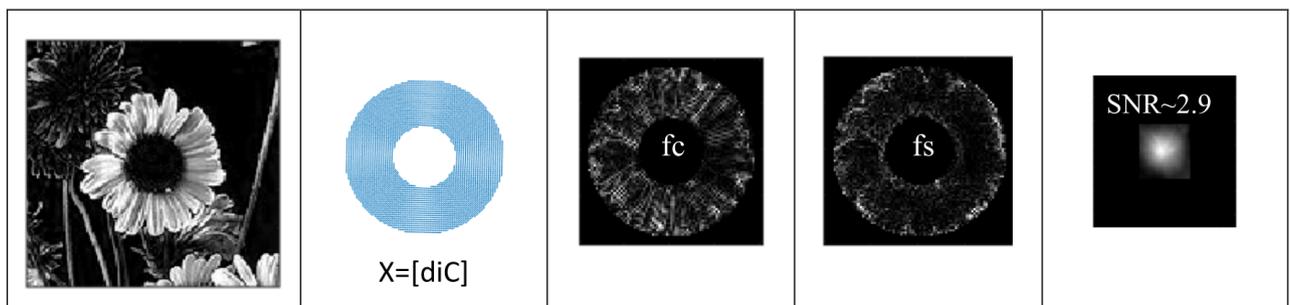


Рис. 6. Для Ромашки этот шаблон X можно уточнить: к X добавить  $\underline{X}=[diR]$

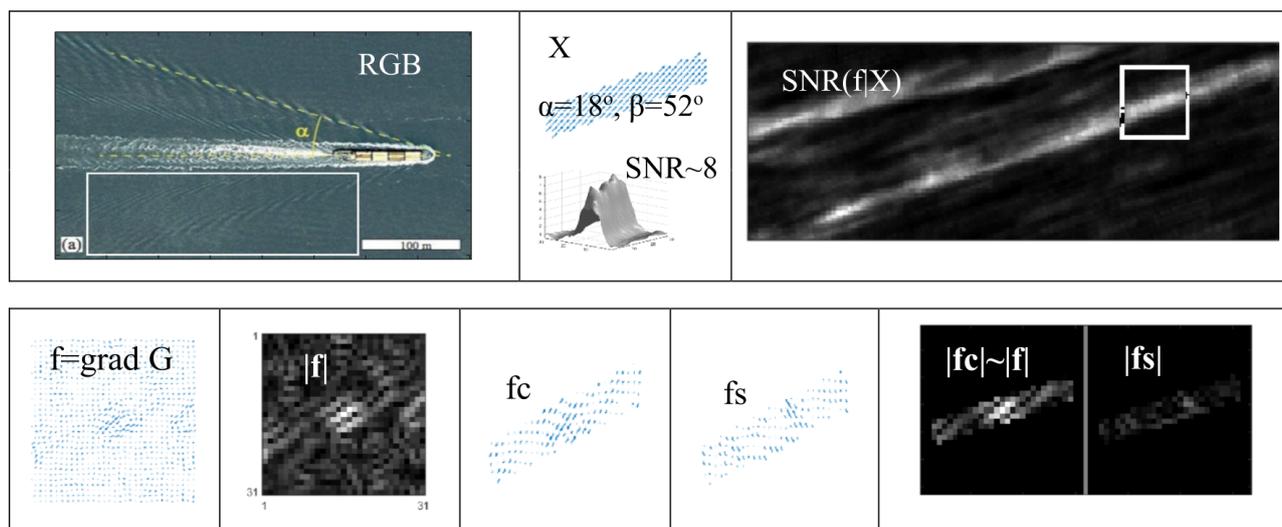


Рис. 7. Левые кильватерные следы оцениваются аналогично

## Оценивание параметров кильватерных следов кораблей

Рис. 7.

### Обсуждение

Методы градиентной морфологии превосходят на порядок по точности локализации, например, обычные морфологические и корреляционные методы [1]. Для успешной работы методов ГМ требуется настройка (параметров) шаблонов и для фильтрация одиночных точек в исходных изображениях подбор параметр  $pF > 0$ .

### Выводы

Методы ГМ найдут широкие применения в решении задач геофизики, волновой физики, в электродинамике, астрофизике и т.п.

### Список литературы

- [1] Пытьев Ю. П., Чуличков А.И., Методы морфологического анализа изображений: учеб. Пособие. М. ФИЗМАТЛИТ, 2010. 336 с.
- [2] Терентьев Е.Н., <https://orcid.org/0000-0003-1024-2575>
- [3] E.N. Terentiev, I.N. Prikhodko, I.I. Farshakova, I.D. Kuznetsov, N.E. Shilin-Terentyev, Localization of the Vortices and Road Signs in Images, [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-11533-3\\_30](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-11533-3_30)
- [4] E.N. Terentiev, I.N. Prikhodko, I.I. Farshakova Problems of accurate localization objects in imagers, AIP Conference Proceedings 2171, 110009 <https://doi.org/10.1063/1.5133243>
- [5] E.N. Terentiev, I.N. Prikhodko, I.I. Farshakova Applications of finite dimensional sampling theories, AIP Conference Proceedings 2195, 020019; <https://doi.org/10.1063/1.5140119>