

ПОИСК СТРУКТУРНЫХ РАЗЛИЧИЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Корнилов Ф.А.

Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН

Отдел прикладных проблем управления

г. Екатеринбург, 2014

Задача поиска структурных различий изображений

- 1 Рассматриваются два снимка одного и того же участка земной поверхности.
- 2 Предполагается, что они геометрически выровнены и имеют одинаковый размер в пикселях.



Структура изображения и структурное различие

Определение 1.

Структурой Ω изображения f назовем семейство $\mathcal{L}_f = \{L_f(i)\}_i$ множеств уровня $L_f(i) = \{x \in X \mid f(x) = i\}$ функции f .

Определение 2.

Структурным различием назовем множество пикселей, удовлетворяющее следующему условию:

$$SD(f, g) = \{x \in X \mid |f'(x) - g(x)| > T \text{ или } |f(x) - g'(x)| > T\},$$

где T — некоторое пороговое значение, f' и g' определены формулами:

$$f' = \arg \min(\|r - g\|^2 + \chi(r; f) \mid r \in \Phi),$$

$$g' = \arg \min(\|r - f\|^2 + \chi(r; g) \mid r \in \Phi).$$

Общая схема алгоритма поиска структурных различий

1. Исходные изображения сканируются локальным окном размера $d \times d$.

2. Для каждого положения окна строятся проекции $f' = P_g f$ и $g' = P_f g$:

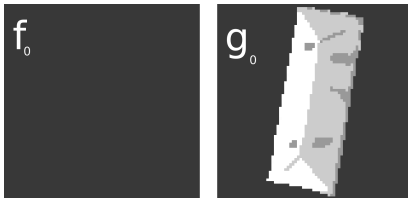
$$P_f g(x) = \sum_i \frac{\sum_{x' \in X} g(x') \cdot \chi_i^f(x')}{\sum_{x' \in X} \chi_i^f(x')} \cdot \chi_i^f(x), \text{ где } \chi_i^f(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } f(x) = i, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

3. Строятся разностные изображения $R_{fg}(x) = |f'(x) - g(x)|$ и $R_{gf}(x) = |g'(x) - f(x)|$.

4. Для завершения симметризации строится результирующее разностное изображение $R(x) = \max(R_{fg}(x), R_{gf}(x))$.

5. Производится пороговая обработка изображения R .

Модель структурного различия 1



К каждому изображению добавляется дискретный, стационарный и независимый в каждой точке аддитивный шум с известными параметрами. В результате получается два случайных поля:

$$f = \{f(x_i)\}_{i=1}^S = \{f^0(x_i) + n_\eta\}_{i=1}^S,$$
$$g = \{g(x_i)\}_{i=1}^S = \{g^0(x_i) + n_\xi\}_{i=1}^S.$$

Задача локализации структурного различия

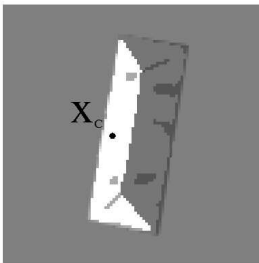
Требуется построить методику расчета условных вероятностей:

У с л о в и е 1: $p(R(x_c) = i \mid x_c \text{ принадлежит объекту}) \equiv r^+(i)$.

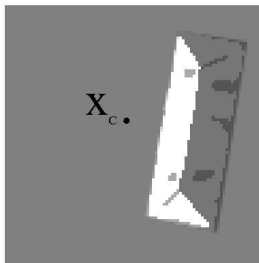
У с л о в и е 2: $p(R(x_c) = i \mid x_c \text{ принадлежит фону}) \equiv r^-(i)$.



Изображение 1



Изображение 2
Условие 1



Изображение 2
Условие 2

Оптимальный порог

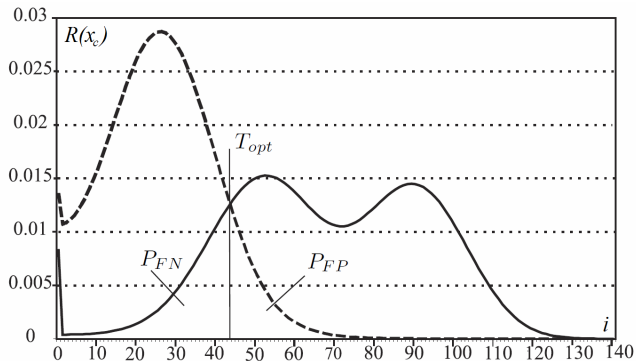
В качестве критерия оптимальности используется минимум суммы ошибок первого и второго рода.

Теорема

Оптимальный порог алгоритма поиска структурных различий на основе морфологического проектора вычисляется по следующей формуле

$$T_{opt} = \arg \min_T \left(\sum_{i < T} r^+(i) + \sum_{i > T} r^-(i) \right)$$

Оптимальный порог



Графики распределений $r^+(R)$ (сплошная линия) и $r^-(R)$ (пунктирная линия).

Функции преобразования яркости

1. морфологический проектор;
2. регуляризованный вариант морфологического проектора:

$$P_f g(x) = \frac{\sum_i \tilde{f}_i(x)}{\sum_j \tilde{\chi}_i^f(x)} = \sum_i \left(\frac{\sum_{x' \in X} g(x') \cdot \tilde{\chi}_i^f(x')}{\sum_{x' \in X} \tilde{\chi}_i^f(x')} \cdot \frac{\tilde{\chi}_i^f(x)}{\sum_j \tilde{\chi}_i^f(x)} \right),$$

где $\tilde{\chi}_i^f$ вычисляется по формуле

$$\tilde{\chi}_i^f(x) = \exp\left(-\frac{(f(x) - i)^2}{\sigma_c^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(x - x_c)^2}{\sigma_d^2}\right);$$

Функции преобразования яркости

3. линейная функция преобразования яркости:

$$f'(x) = k \cdot f(x) + b,$$

где коэффициенты находятся с помощью МНК по двум фрагментам изображений, ограниченных сканирующим окном, из соотношения

$$k \cdot f(\cdot) + b = g(\cdot);$$

4. квадратичная функция преобразования яркости:

$$f'(x) = a \cdot f^2(x) + b \cdot f(x) + c,$$

где коэффициенты находятся с помощью МНК по двум фрагментам изображений, ограниченных сканирующим окном, из соотношения

$$a \cdot f^2(\cdot) + b \cdot f(\cdot) + c = g(\cdot).$$

Модель структурного различия 2



Фрагменты модельных изображений городской застройки и их ручная разметка.

Максимальные значения верного обнаружения TP (минимальные значения пропуска FP) при зафиксированном уровне $FP = 0.1$ ($TP = 0.9$) для алгоритмов поиска структурных различий, и оптимальные параметры, при которых они получены:

Алгоритм	TP_{max}	FP_{min}	Параметры
Рег. морфологический проектор	0.892091	0.113738	$d = 29, \sigma_c = 2$
Квадратичная функция	0.890949	0.113725	$d = 23$
Морфологический проектор	0.885229	0.120545	$d = 27$
Линейная функция	0.884299	0.122274	$d = 23$

Была представлена формализация задачи поиска структурных различий и две модели для теоретического и практического исследования алгоритмов. Можно сформулировать следующие направления дальнейшей работы:

1. Получить теоретические формулы для оптимального порога алгоритмов поиска структурных различий. Определив эти формулы для остальных алгоритмов, можно будет сформулировать утверждение о теоретическом преимуществе одного из них.
2. Разработать версии алгоритмов, работающие с многоканальными изображениями. Возможно, стоит использовать также данные различных геофизических полей — например, поле высот строений и сооружений.