

Подход к сглаживанию изображения в контексте модели сигнала

П.А. Чочиа¹

¹Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Большой Каретный пер. 19, Москва, Россия, 127051

Аннотация

Согласно модели изображения, сглаживание есть разделение сигнала на кусочно-гладкую структурную и текстурно-шумовую компоненты. Сохранение структуры требует независимого анализа в каждой связной области изображения. Критерием связности служит отсутствие контурных перепадов между точками. Предлагается сохраняющий структуру алгоритм сглаживания изображения, основанный на предварительном обнаружении перепадов значений между областями изображения и ограниченном усреднении внутри каждой из областей.

Ключевые слова

Контурно-ограниченное сглаживание, структура сигнала, показатель сходства

1. Введение

Изображение рассматривается как смесь кусочно-гладкой $s(z)$, текстурной $t(z)$ и шумовой $\xi(z)$ компонент [1] (здесь и ниже $\{z\} \equiv \{z_v, z_h\}$ — двумерные координаты; то же для $\{x\}$ и $\{y\}$):

$$f(z) = s(z) + t(z) + \xi(z). \quad (1)$$

Задача формулируется как разделению смеси $f(z)$ на компоненты $s(z)$ и $\{t(z) + \xi(z)\}$. Проблема сглаживания с сохранением границ объектов состоит в выборе того множества точек, по которым будет производиться усреднение. В большинстве известных алгоритмов окно анализа задается пространственно, множество усреднения внутри окна выбирается по значениям сигнала, а условия связности обычно не накладываются. Но согласно модели [1] критерием для ограничения области должна быть не разница в значениях целевой точки и ее окружения, а принадлежность этих точек одной и той же связной области изображения.

Предлагается новый подход к решению задачи сглаживания, в котором *область усреднения* ограничивается контурными границами (перепадами значений) между областями изображения. При этом на границы не накладываются формальные требования в виде топологической корректности, непрерывности, замкнутости, и пр.

2. Алгоритм сглаживания

Введем характеристику, определяемую близостью значений точек и наличием контурных перепадов между ними. Определим *показатель сходства* пары точек x и y , опосредованный к отрезку $[x, y]$, их соединяющему, как значение $A[x, y]$, ($0 \leq A \leq 1$), зависящее от градиентов функции $f(z)$ на отрезке $z \in [x, y]$, которое максимально при $f(z) = \text{const}$. Значение $A[x, y]$ зададим как произведение показателей сходств a_n ($0 \leq a_n \leq 1$) на N элементарных участках отрезка $[x, y]$:

$$A[x, y] = a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_N. \quad (2)$$

Показатель сходства $A[x, y]$ соответствует коэффициенту пропускания среды на участке $[x, y]$, а зависимость (2) совпадает с законом ослабления света в поглощающей среде. В дискретном случае можно говорить о *показателе сходства в точке* $a(z)$, удовлетворяющем соотношению:

$$A[x, z] = a(z)A[x, z-1], \quad z \in [x, y].$$

Рассматривая функцию $f(z)$, $z \in [x, y]$ как сечение изображения на отрезке $[x, y]$, при условиях непрерывности и гладкости будем полагать, что показатель сходства $a(z)$ убывает при возрастании модуля градиента $g(z) = |f'(z)|$ в точке. В качестве модели для $a(z)$ выберем такую:

$$a(z) = 1 - g(z)/g_{\text{Max}}, \quad z \in [x, y],$$

где g_{Max} — максимально допустимый уровень градиента $g(z)$. Найдя значения $a(z)$ в каждой точке z изображения, легко вычислить показатель сходства $A[x,y]$ для любого отрезка $[x,y]$.

Задача сглаживания ставится как нахождение значения кусочно-гладкой компоненты $s(z)$ в (1). Для целевой (центральной) точки, обозначаемой через 0, осуществляется анализ по окружающему ее фрагменту Ω задаваемой формы. Введем весовую функцию $q(d) = q(d(0,z))$, $z \in \Omega$, где $d = d(0,z)$ — расстояние от точки 0 до точки z , причем $q(d_1) \geq q(d_2)$, если $d_1 < d_2$. В качестве таковой удобно выбрать Гауссову: $q(d) = \exp\{-d^2/2\delta^2\}$. Весовой коэффициент $w(z)$ точки $z \in \Omega$ зададим как произведение показателя сходства и весовой функции:

$$w(z) = A(0,z)q(d(0,z)).$$

Тогда вклад окрестности dz точки z в общую сумму составит $f(z)w(z)dz$.

Суммарный вес элементов фрагмента Ω , окружающего центральную точку, равен

$$W(\Omega) = \int_{\Omega} w(z)dz. \quad (3)$$

Результирующее сглаженное значение $s(0)$, записываемое в точку 0, вычисляется как:

$$s(0) = \int_{\Omega} f(z)w(z)dz / W(\Omega). \quad (4)$$

Эксперименты показали, что предлагаемый алгоритм контурно-ограниченного сглаживания (4) демонстрирует существенно лучшие показатели по сравнению с известными фильтрами, такими как: сигма-фильтр, билатеральный фильтр, алгоритм декомпозиции, геодезический фильтр [1],[2]. На Рисунке 1 приведен пример сглаживания изображения размерами 512×512 элементов алгоритмом (4) с окном анализа 11×11 и одной итерацией.



Рисунок 1: а) исходное изображение; б) сглаживание; в) фрагмент сглаженного изображения

Алгоритм сглаживания (4) дает возможность одинаковой обработки каналов цветных, многозональных изображений, и изображений с разнородными цветовыми координатами (например, *HSI, Lab*), когда характеристики по каналам кардинально различаются.

Для дискретного сигнала предлагается также алгоритм ускоренного вычисления показателя сходства $A(0,z)$ и веса элементов фрагмента $W(\Omega)$ при любой весовой функции $q(d)$.

3. Заключение

На основе понятия «показатель сходства» и способа его вычисления разработан алгоритм контурно-ограниченного сглаживания изображений, сохраняющий структуру сигнала. Показано, что эффективность предложенного алгоритма наивысшая по сравнению с другими известными алгоритмами сглаживания. Результаты продемонстрированы на тестовых и реальных данных. Разработанный алгоритм применим к изображениям любого цветового представления и числа каналов — монохромным, цветным, мультиспектральным.

4. Литература

- [1] Чочиа, П.А. Методы обработки видеоинформации на основе двухмасштабной модели изображения. – Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2017. – 308 с.
- [2] Чочиа, П.А. Контурно-ограниченное сглаживание, сохраняющее структуру изображения // Информационные процессы. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 193-204.