Разработка и исследование массивно-многопоточного алгоритма нелинейной фильтрации изображений в CUDA-среде

Магистрант — Елкин Д. А.

Руководитель работы — Фурсов В.А.

Цель работы

Целью работы является разработка и исследование модели нелинейной фильтрации изображений для устранения динамических искажений. Создание программного обеспечения для исследования качества восстановления изображений с помощью разработанной модели.

Задачи:

1. Анализ задачи построения нелинейного фильтра для устранения динамических искажений.
2. Разработка модели нелинейного фильтра для искажений с радиальной симметрией.
3. Разработка программного комплекса.
4. Проведение экспериментов по восстановлению изображений с помощью разработанной модели нелинейного фильтра.

Постановка задачи

Полином Колмагорова-Габора:

$$y(k_1,k_2)=c_0+\sum_{n_1,n_2=1}^{N_1,N_2}c_{n_1,n_2}x(n_1,n_2)+\sum_{n_1,n_2=1}^{N_1,N_2}\sum_{m_1,m_2=1}^{N_1,N_2}c_{n_1,n_2;m_1,m_2}x(n_1,n_2)x(m_1,m_2)+\ldots$$

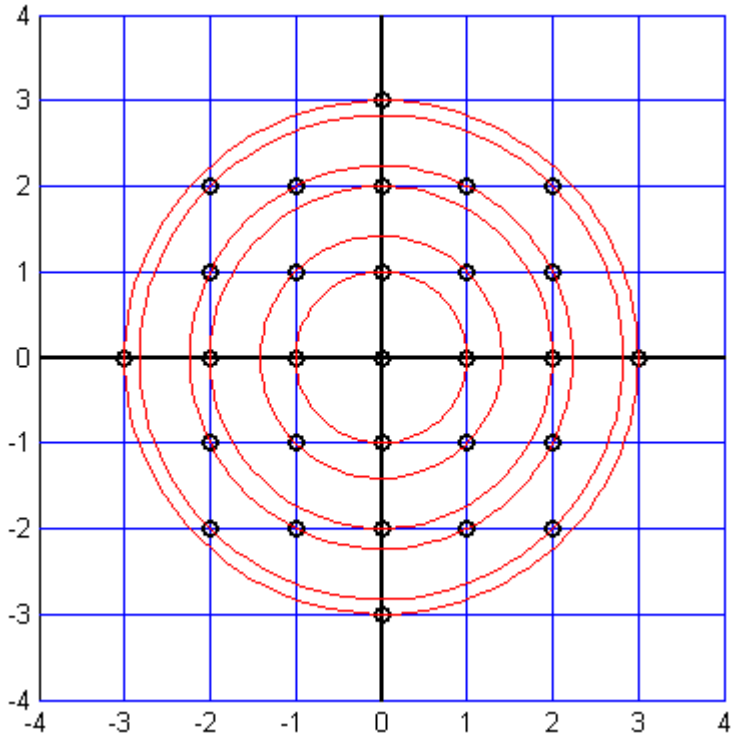
Матричное соотношение: $\mathbf{y}=\mathbf{X}\mathbf{c}+\boldsymbol{\xi}$.

Задача заключается в том, чтобы по одной реализации (фрагменту изображения) построить оценку $\hat{\mathbf{c}}$ вектора параметров **c** по доступным для непосредственного наблюдения $N\times M$-матрице $\mathbf{X}$ и $N\times 1$-вектору $\mathbf{y}\left(N>M\right)$, при неизвестном $N\times 1$-векторе ошибок $\boldsymbol{\xi}$.

Модификация модели для случая радиально симметричных искажений

$$x(r) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} x_i(n_1, n_2, r)$$

1. $$y(k_1,k_2) = c_0 + \sum_{i=1}^{6} c_i x(r_i) + \sum_{i=1}^{6}\sum_{j=1}^{6} c_{i,j} x(r_i) x(r_j).$$
2. $$y(k_1,k_2) = c_0 + \sum_{i=1}^{6} c_{1,i} x(r_i) + \sum_{i=1}^{6} c_{2,i} x^2(r_i).$$
3. $$y(k_1,k_2) = c_0 + \sum_{i=1}^{6} c_{1,i} x(r_i) + \sum_{i=1}^{6} c_{2,i} x^2(r_i) + \sum_{i=1}^{6} c_{2,i} x^3(r_i).$$
4. $$y(k_1,k_2) = c_0 + \sum_{i=1}^{3} c_{1,i} x(r_i) + \sum_{i=1}^{3} c_{2,i} x^2(r_i) + \sum_{i=1}^{3} c_{2,i} x^3(r_i).$$
5. $$x'(r_3) = \frac{1}{2}(x(r_3) + x(r_4)); \quad x'(r_4) = \frac{1}{2}(x(r_5) + x(r_6));$$
$$y(k_1,k_2) = c_0 + \sum_{i=1}^{4} c_i x(r_i) + \sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{4} c_{i,j} x(r_i) x(r_j).$$

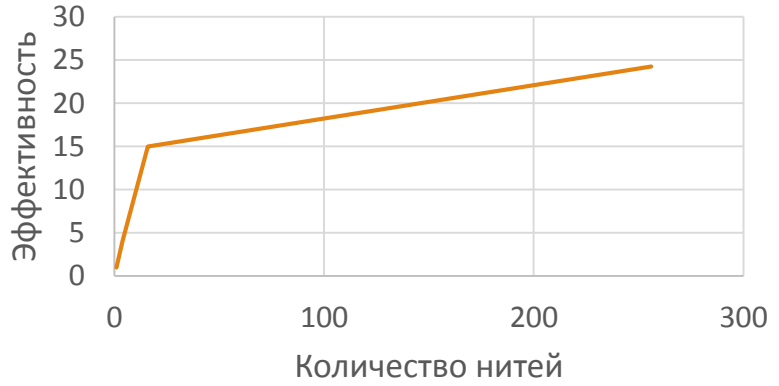


Описание программного комплекса

$$y(k_1,k_2) = c_0 + \sum_{i=1}^{6} c_{1,i}x(r_i) + \sum_{i=1}^{6} c_{2,i}x^2(r_i) + \sum_{i=1}^{6} c_{2,i}x^3(r_i)$$

Шаги:

1. Инициализация y значением c_0.
2. Параллельно для каждого отсчета рассчитать $\sum_{i=1}^{6} c_{1,i}x(r_i)$.
3. Параллельно для каждого отсчета рассчитать $\sum_{i=1}^{6} c_{2,i}x^2(r_i)$.
4. Параллельно для каждого отсчета рассчитать $\sum_{i=1}^{6} c_{2,i}x^3(r_i)$.



Сравнение результатов обработки при σ=3

Фильтр	СКО «Лена»	СКО «Город»
$y(k_1,k_2)=c_0+\sum_{i=1}^{6}c_{1,i}x(r_i)+\sum_{i=1}^{6}c_{2,i}x^2(r_i)+\sum_{i=1}^{6}c_{2,i}x^3(r_i)$	8,7016	15,1467
$y(k_1,k_2)=c_0+\sum_{i=1}^{6}c_{1,i}x(r_i)+\sum_{i=1}^{6}c_{2,i}x^2(r_i)$	8,7043	15,1555
$x'(r_3)=\frac{1}{2}(x(r_3)+x(r_4));\quad x'(r_4)=\frac{1}{2}(x(r_5)+x(r_6));$ $y(k_1,k_2)=c_0+\sum_{i=1}^{4}c_i x(r_i)+\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{4}c_{i,j}x(r_i)x(r_j)$	8,9613	15,6698
$y(k_1,k_2)=c_0+\sum_{i=1}^{6}c_i x(r_i)+\sum_{i=1}^{6}\sum_{j=1}^{6}c_{i,j}x(r_i)x(r_j)$	8,9870	15,2948
$y(k_1,k_2)=c_0+\sum_{i=1}^{3}c_{1,i}x(r_i)+\sum_{i=1}^{3}c_{2,i}x^2(r_i)+\sum_{i=1}^{3}c_{2,i}x^3(r_i)$	8,8932	16,8469
OpenCV (Винеровский фильтр)	9,8238	19,3741

Сравнение результатов обработки при σ=5

Фильтр	СКО «Лена»	СКО «Город»
$y(k_1,k_2)=c_0+\sum_{i=1}^{6}c_{1,i}x(r_i)+\sum_{i=1}^{6}c_{2,i}x^2(r_i)+\sum_{i=1}^{6}c_{2,i}x^3(r_i)$	11,6262	23,5168
$y(k_1,k_2)=c_0+\sum_{i=1}^{6}c_{1,i}x(r_i)+\sum_{i=1}^{6}c_{2,i}x^2(r_i)$	11,7534	23,5207
$x'(r_3)=\frac{1}{2}(x(r_3)+x(r_4));\quad x'(r_4)=\frac{1}{2}(x(r_5)+x(r_6));$ $y(k_1,k_2)=c_0+\sum_{i=1}^{4}c_i x(r_i)+\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{4}c_{i,j}x(r_i)x(r_j)$	11,8041	23,6472
$y(k_1,k_2)=c_0+\sum_{i=1}^{6}c_i x(r_i)+\sum_{i=1}^{6}\sum_{j=1}^{6}c_{i,j}x(r_i)x(r_j)$	11,9505	23,7339
$y(k_1,k_2)=c_0+\sum_{i=1}^{3}c_{1,i}x(r_i)+\sum_{i=1}^{3}c_{2,i}x^2(r_i)+\sum_{i=1}^{3}c_{2,i}x^3(r_i)$	12,1636	23,6343
OpenCV (Винеровский фильтр)	13,2166	23,8003

Пример 1 – сравнение результатов при σ=3

Исходное изображение

Размытое изображение

Восстановленное нелинейным фильтром

OpenCV

Пример 2 – сравнение результатов при σ=5

Исходное изображение

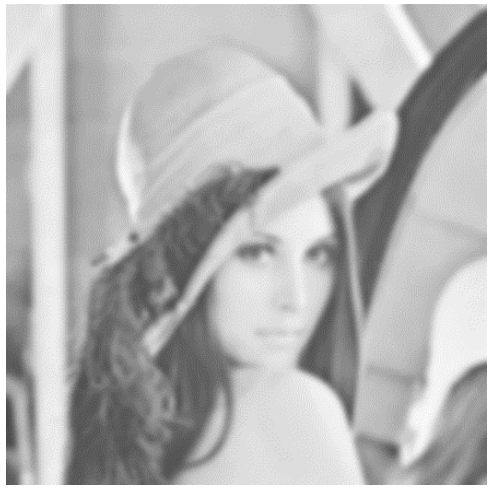
Размытое изображение

Восстановленное нелинейным фильтром

OpenCV

Пример 3 – сравнение результатов при σ=3

Исходное изображение



Размытое изображение

Восстановленное нелинейным фильтром

OpenCV

Пример 4 – сравнение результатов при σ=5

Исходное изображение

Размытое изображение

Восстановленное нелинейным фильтром

OpenCV

Выводы

По представленным результатам можно судить о преимуществе использования нелинейного фильтра: границы объектов, при восстановлении с помощью нелинейного фильтра более четкие.

Также следует отметить удобство и простоту использования алгоритма идентификации параметров модели для задачи восстановления изображений.