

Быстрые алгоритмы обработки изображений на основе нестационарной гамма-нормальной модели

Грачева И.А., gia1509@mail.ru

Копылов А.В., and.kopylov@gmail.com

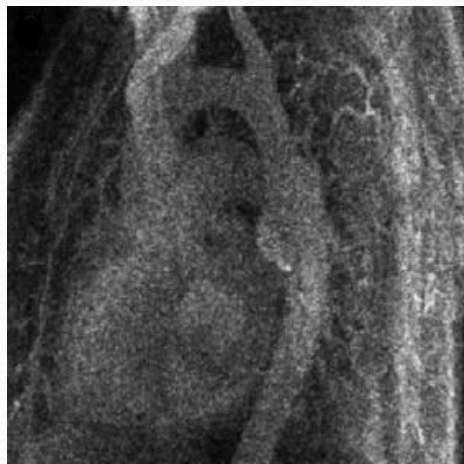
Тулский государственный университет

Работа поддержана грантом РФФИ 13-07-00529.

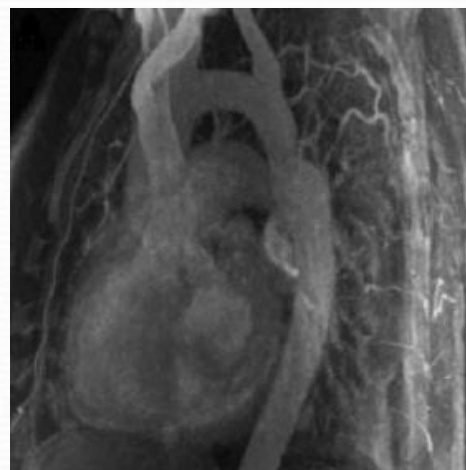
ММРО17, г. Светлогорск, 19-25 сентября 2015

Общая постановка задачи

Анализируемое изображение



Результат обработки



$$Y = (y_t, t \in T)$$



$$X = (x_t, t \in T)$$

$$T = \{t = (t_1, t_2) : t_1 = 1, \dots, N_1, t_2 = 1, \dots, N_2\}$$

Анализируемое изображение и результат обработки рассматриваются как наблюдаемая Y и скрытая X компоненты двухкомпонентного случайного процесса или поля (X, Y) .

Для сингулярной функции потерь оптимальной является оценка, максимизирующая апостериорную плотность распределения:

$$\hat{X}(Y) = \arg \max_{x \in X} P(X | Y) \propto \arg \max_{x \in X} \Psi(X) \Phi(Y | X)$$

Вероятностная модель

Совместная условная плотность вероятности :

$$\Phi(Y | X, \delta) = \frac{1}{\delta^{N/2} (2\pi)^{N/2}} \exp\left(-\frac{1}{2\delta} \sum_{t \in T} (y_t - x_t)^2\right)$$

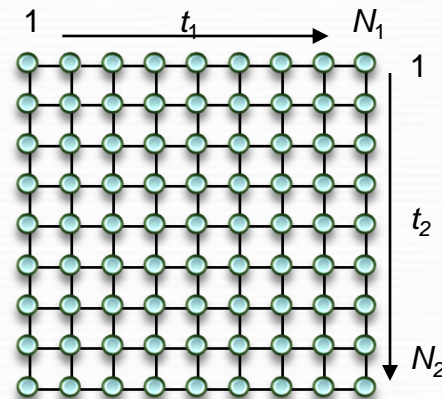
где $E(e_t^2) = \delta$ дисперсия шума в наблюдении.

Совместное априорное распределение :

$$\Psi(X | \Lambda, \delta) \propto \frac{1}{\left(\prod_{t \in T} \delta \lambda_t\right)^{1/2} (2\pi)^{n(N-1)/2}} \times \exp\left(-\frac{1}{2} \sum_{t', t'' \in V} \frac{1}{\delta \lambda_t} (x_{t'} - x_{t''})^2\right)$$

где λ_t коэффициенты пропорциональности дисперсии шума $r_t = \lambda_t \delta$;

V – граф соседства элементов изображения, имеющий вид решетки.



Байесовская оценка скрытого случайного поля

Байесовская оценка (X, Λ) и есть решение оптимизационной задачи

$$(\hat{X}, \hat{\Lambda} | \lambda, \mu) = \arg \min_{X, \Lambda} \left[\sum_{t \in T} (y_t - x_t)^2 + \sum_{t', t'' \in V} \left\{ \frac{1}{\lambda_{t'}} [(x_{t'} - x_{t''})^2 + \lambda / \mu] + (1 + 1/\mu) \ln \lambda_{t'} \right\} \right]$$

Условно оптимальные факторы $\hat{\Lambda}(X, \lambda, \mu) = [\hat{\lambda}_t(X, \lambda, \mu), t \in T]$ определяются независимо друг от друга:

$$\hat{\Lambda}(X, \lambda, \mu) = \arg \min_{\Lambda} J(\Lambda | X, \lambda, \mu) : \frac{\partial}{\partial \lambda_{t'}} \left\{ \frac{1}{\lambda_{t'}} [(x_{t'} - x_{t''})^2 + \lambda / \mu] + (1 + 1/\mu) \ln \lambda_{t'} \right\} = 0$$

Нулевые условия для производных, за исключением тривиальных решений $\lambda_t \rightarrow \infty$, приводят к равенству

$$\hat{\lambda}_t(X, \lambda, \mu) = \lambda \frac{(1/\lambda)(x_{t'} - x_{t''})^2 + 1/\mu}{1 + 1/\mu}$$

Процедура Гаусса-Зайделя*

Начальные значения $\hat{\Lambda}^0 = (\hat{\lambda}_t^0 = \lambda, t \in T)$

$$\hat{X}^k = (\hat{x}^k, t = 1, \dots, N) = \arg \min_X J(X, \Lambda^k | Y, \lambda, \mu) =$$

$$\arg \min_X \left\{ \sum_{t \in T} (y_t - x_t)^2 + \sum_{t', t'' \in V} \frac{1}{\lambda_{t'}} (x_{t'} - x_{t''})^2 \right\}.$$



$$\hat{\Lambda}^{k+1} = (\hat{\lambda}_t^{k+1}, t \in T) = \lambda \frac{(1/\lambda)(x_{t'}^k - x_{t''}^k)^2 + 1/\mu}{1 + 1/\mu}.$$



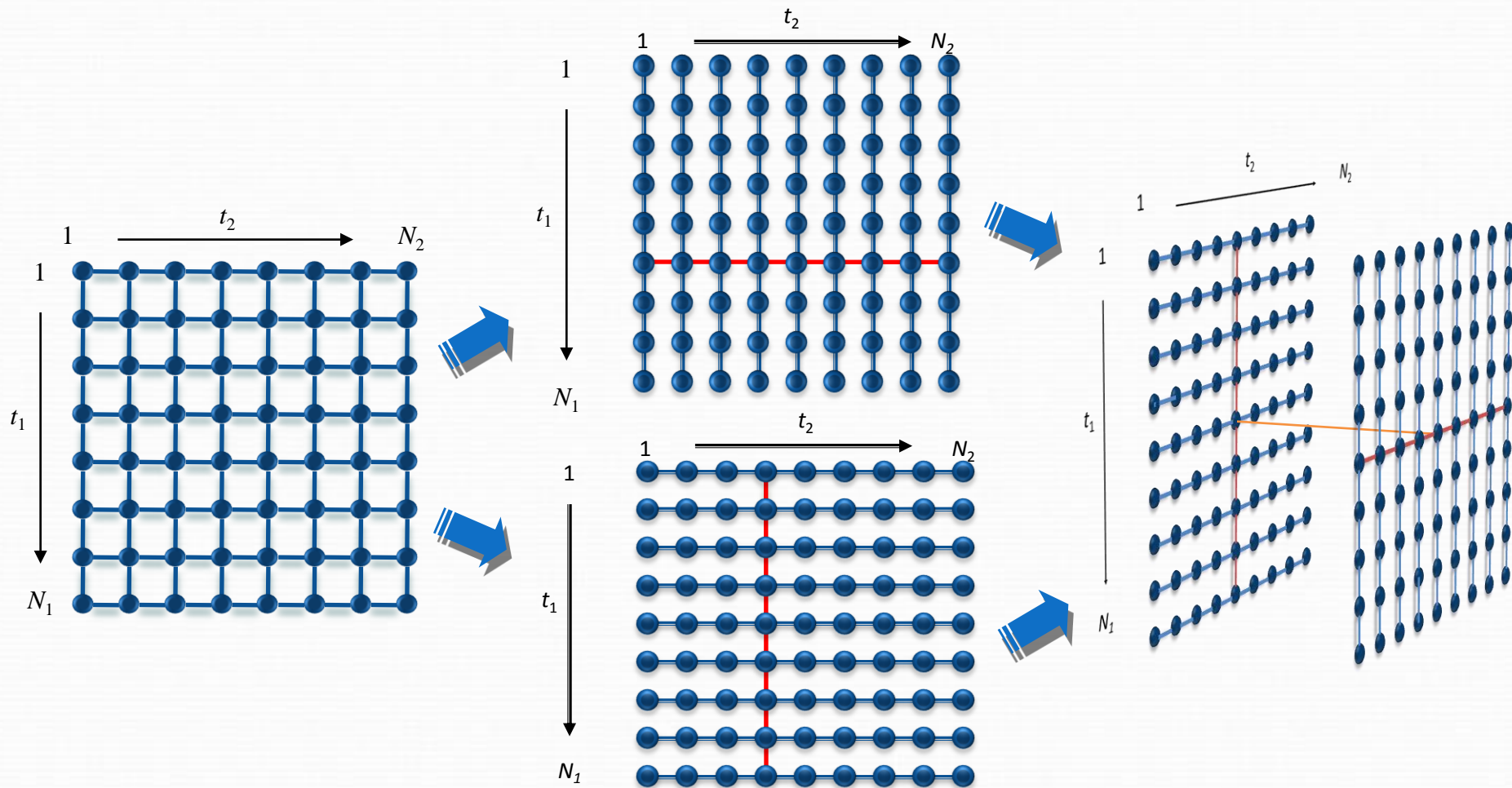
$$k = k + 1$$



Условие остановки $(\hat{X}^k - \hat{X}^{k+1})^2 \leq \varepsilon$

*Грачева И.А., Копылов А.В., Красоткина О.В. Адаптивная процедура обобщенного сглаживания изображений на основе статистического подхода. Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 11, Ч. 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2014, стр. 390-401.

Аппроксимация решетчатого графа последовательностью деревьев



Сравнение алгоритмов по качеству обработки

Пуассоновский шум

Image	Peppers 256x256		
Peak intensity	120	60	30
Input PSNR	23.92	20.92	17.91
Haar-Fisz	29.27	27.30	24.54
Platelet	29.07	27.44	25.73
PURE-LET	30.28	28.51	26.72
Our algorithm	29.53	28.65	25.77

Гауссовский шум

Image	Einstein 512x512		
Peak intensity	120	60	30
Input PSNR	8.34	14.35	19.23
FBF	24.86	26.21	29.63
SURE-LET	24.56	26.30	29.43
BM3D	25.03	26.59	29.99
Our algorithm	24.76	26.44	29.88

Сравнение алгоритмов по времени работы

Methods	Image size	
	256x256	512x512
Platelet	856	1112
PURE-LET	4.6	8.2
BM3D	4.1	7.2
Haar-Fisz	1.3	3.2
FBF	0.5	1.8
SURE-LET	0.4	1.6
Our algorithm	0.16	0.53

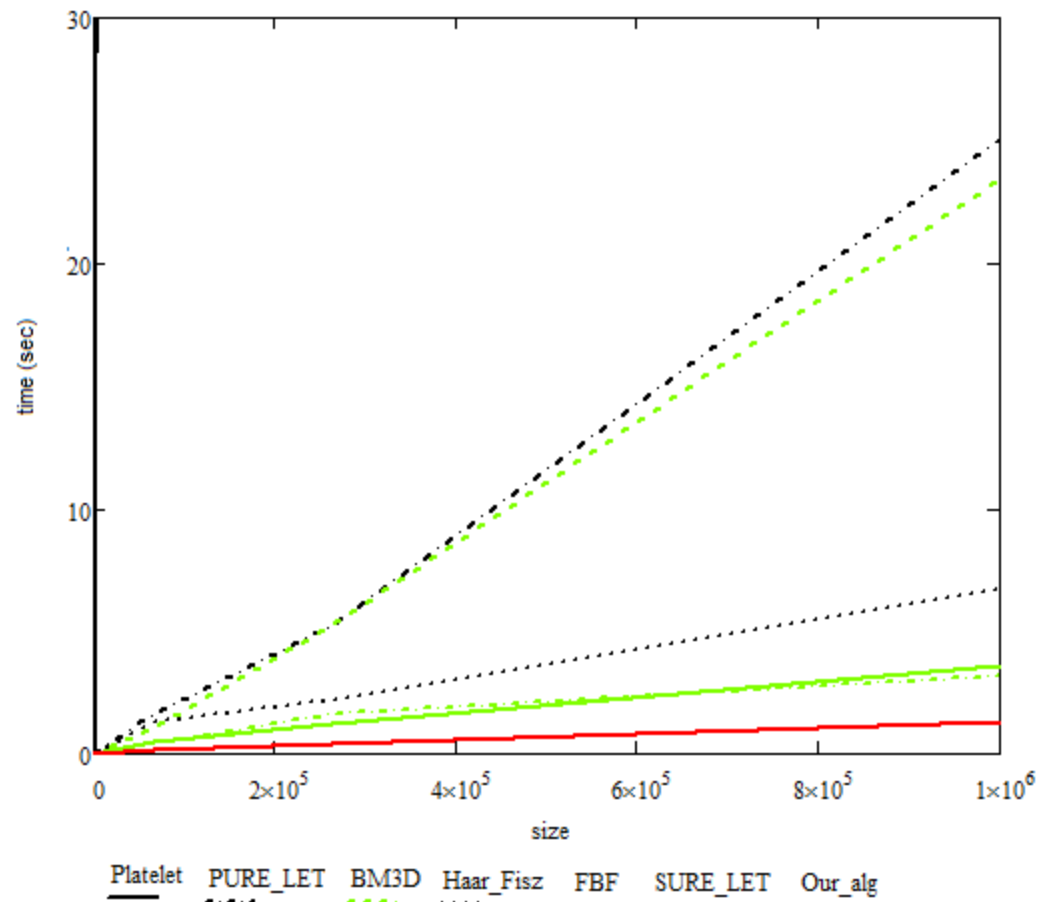


График зависимости времени работы алгоритмов от размера анализируемого изображения

Расширенная постановка задачи

Анализируемое изображение



$$Y = (y_t, t \in T)$$

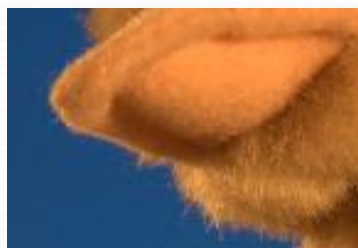
$$\hat{X}(\Lambda, Y, \lambda, \mu) = \arg \min_x J(X | \Lambda, Y, \lambda, \mu)$$

Результат обработки



$$X = (x_t, t \in T)$$

Опорное изображение

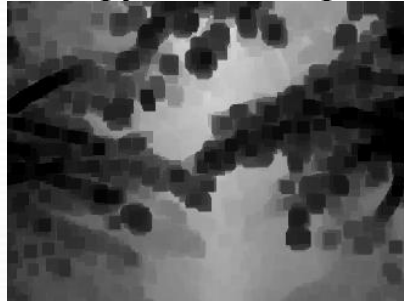


$$X^g = (x_t^g, t \in T)$$

$$\hat{\Lambda}(X^g, \lambda, \mu) = \arg \min_{\Lambda} J(\Lambda | X^g, \lambda, \mu)$$

Примеры задач

Анализируемое изображение



Результат обработки



Опорное изображение



Для задачи удаления тумана на изображении:

Для задачи сжатия контраста HDR изображения:



Для задачи восстановления структуры изображения:



$$Y = (y_t, t \in T)$$



$$X = (x_t, t \in T)$$



$$X^g = (x_t^g, t \in T)$$

$$T = \{t = (t_1, t_2) : t_1 = 1, \dots, N_1, t_2 = 1, \dots, N_2\}$$

Модель атмосферного рассеивания

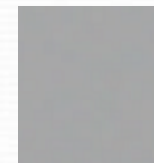
Для нахождения атмосферного света $a \in R^3$ выбираем первые 1% самых ярких пикселей в темном канале $Y^{dark} = (y_t^{dark}, t \in T)$, который в данной задаче играть роль промежуточного изображения. И среди них, выбираем пиксель с самой высокой интенсивностью на исходном изображении.



$$X^g = (x_t^g, t \in T)$$



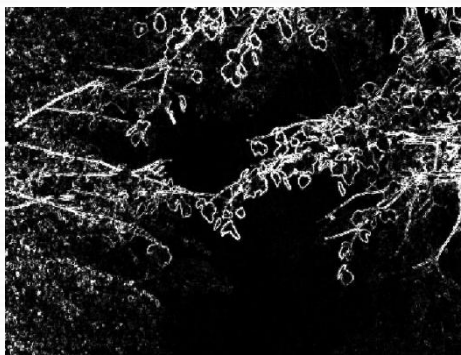
$$Y^{dark} = \min_{c \in \{r, g, b\}} (\min_{j \in \Omega(t)} (y_j^c))$$





$$a \in R^3$$




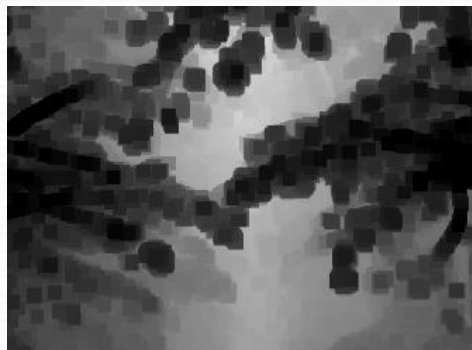
Алгоритм удаления тумана на изображении




$$X^g = (x_t^g, t \in T)$$



$$\hat{\Lambda} = (\hat{\lambda}_t, t \in T)$$


$$\hat{X} = (\hat{x}_t, t \in T)$$




$$Y^{dark} = (y_t^{dark}, t \in T)$$


$$X = (x_t, t \in T)$$

$$\hat{x}_t = \frac{x_t^g - a}{x_t} + a$$


$$a \in R^3$$


Сравнение алгоритмов удаления тумана на изображении



а)



б)



в)



г)



д)

а) Исходное изображение; б) результат удаления тумана SIHR; в) результат удаления тумана нашим методом; г) карта светопередачи SIHR; д) карта светопередачи, полученная нашим методом.

Сравнение алгоритмов удаления тумана на изображении



а)

а)результат удаления тумана SIHR; б)результат удаления тумана предложенным методом



б)

Алгоритм сжатия контраста HDR изображений

$$x_t = y_t - \alpha(x_t^g + \text{mean}(x^g))$$



$X = (x_t, t \in T)$



$Y = (y_t, t \in T)$



$X^g = (x_t^g, t \in T)$

где α - масштабирующий коэффициент.

Сравнение алгоритмов сжатия контраста HDR изображений



а) Исходное HDR изображение; б) результат сжатия контраста исходного изображения билатеральным фильтром; в) результат сжатия контраста исходного изображения нашим методом.

Сравнение алгоритмов по времени работы (сек)

Сравнение алгоритмов удаления тумана

Methods	Image size	
	441x450	651x509
SIHR	18.67	39.87
Guided filter	16.579	27.516
Tarel	0.521	1.076
Fattal	26.496	44.241
Our algorithm	0.144	0.205

Сравнение алгоритмов сжатия контраста HDR изображений

Methods	Image size	
	512x768	750x487
Icis	30	32
Guided filter	6.72	6.75
FBF	6.31	6.34
Our algorithm	6.1	6.12



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!