

Краткий обзор и программная реализация избранных методов для деконволюции изображений

А.Ю. Кулакович, Н.Н. Венцов

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Приведён краткий обзор проблемы потери качества изображения. Рассмотрены и проанализированы методы для восстановления расфокусированных изображений. Описаны функции смаза и способы дефокусировки изображения, а также механизм по устранению трёх основных видов смаза изображения. Был проведен ряд экспериментов над расфокусированными изображениями. Разобран алгоритм деконволюции изображения при помощи фильтра Винера и при помощи метода регуляризации Тихонова. В работе проведен анализ корректности применения фильтра Винера и регуляризации Тихонова для смазанных изображений. Определена зависимость времени выполнения алгоритма от размерности восстанавливаемого изображения. Установлено, что на тестируемых задачах - временная сложность фильтра Винера в 1,1 раза меньше временной сложности регуляризации Тихонова.

Ключевые слова: фильтр Винера, деконволюция по Винеру, регуляризации Тихонова, восстановление изображений, смазанные изображения, motion blur, размытие по Гауссу.

Введение

К факторам, обуславливающим проблему дефокусировки изображений можно отнести: неправильную наводку фокуса на фотоаппарате, движение камеры или объекта перед камерой, искусственное размытие изображений и др. Восстановление изображений является актуальной научной практической проблемой, по причине применения изображений при построении математических и информационных моделей.

I Краткий обзор проблемы потери качества изображения

Процесс моделирования искажения заключается в применении функции искажения к исходному, неискаженному изображению, называется сверткой функции или convolution (русс.свёртка), то есть определенная область начального неискаженного изображения сворачивается в один пиксель

искаженного изображения по определенному закону [1, С. 15]:

$$g(x,y) = h(x,y) * f(x,y) = \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b h(i,j)f(x+i,y+j) \quad (1)$$

где $h(x,y)$ – искажающая функция, «*» - операция свёртки изображения, $g(x,y)$ – исходное, неискаженное изображение, $a = (m - 1) / 2$, $b = (n - 1) / 2$, m и n – размеры исходного и неискаженного изображения.

В работе рассмотрены часто встречающиеся варианты искажений, а так же приведены схемы построения ядра для каждого из них. Под ядром искажения понимают функцию искажения $h(x,y)$.

Gaussian blur или **размытие по Гауссу**. В природе этот тип искажений встречается при фотографировании планеты Земля с помощью спутников и появляется в следствии турбулентности атмосферы.

Данный вид искажения достаточно часто умышленно применяется к уже отснятым изображением при их первой обработке для уменьшения количества шума, но при этом также и падает уровень резкости, что может в дальнейшем оказаться нежелательным [2, С. 336].

Размытие по Гауссу описывается формулой [1, С. 17]:

$$y(m,n) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \sum_{u,v} e^{-\frac{(u^2+v^2)}{2\sigma^2}} x(m+u,n+v) \quad (2)$$

где $y(m,n)$ – искаженное изображение, σ – параметр размытия Гаусса, m и n – размеры исходного и неискаженного изображения.

Out-of-focus blur или **эффект Боке** — размытость, которая возникает из-за неправильной или неточной наводки фокусного расстояния. R - обозначает радиус размытости изображения в пикселях. Out-of-focus blur описывается следующей формулой [1, С. 17]:

$$h(m, n) = \begin{cases} \frac{1}{\pi R^2}, & \text{при } \sqrt{m^2 + n^2} \leq R \\ 0, & \text{в другом случае} \end{cases} \quad (3)$$

где $h(m, n)$ – размытое изображение, R – радиус размытия, m и n – размеры исходного и неискаженного изображения.

Motion blur – это размытое изображение, в результате движения объекта или движения камеры. Motion blur описывается следующей формулой [1, С. 17]:

$$h(m) = \begin{cases} \frac{1}{L}, & \text{при } -\frac{L}{2} \leq m \leq \frac{L}{2} \\ 0, & \text{в другом случае} \end{cases} \quad (4)$$

где $h(m)$ – смазанное изображение, L – длина следа размытия, m – длина смазанного изображения.

II Краткий обзор методов для восстановления расфокусированных изображений.

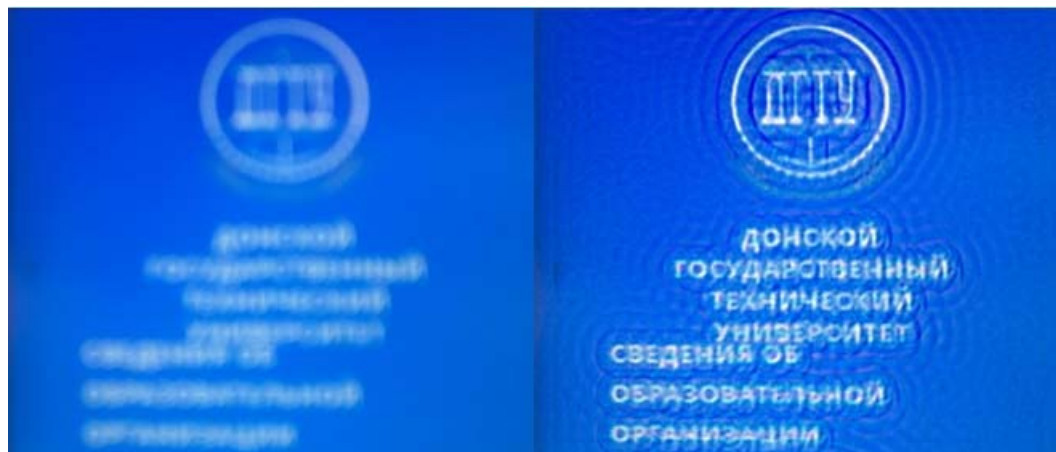
Существует достаточно много методов для восстановления расфокусированных изображений. Наиболее известными являются: фильтр Винера и регуляризация по Тихонову, ввиду их популярности и эффективности. По причине непрерывного совершенствования программных и аппаратных средств ЭВМ, актуальной проблемой является проблема выбора наиболее приемлемого метода в каждом конкретном случае.

Фильтр Винера рассматривает изображение и шум как случайные процессы и находит такой коэффициент Γ для неискаженного изображения f , чтобы среднеквадратическое отклонение этих величин получилось минимальным. Минимум отклонения данной функции можно достичь в частотной области. Формула Фильтра Винера приведена ниже [2, С. 414]:

$$\bar{F}(u, v) = \left(\frac{1}{H(u, v) \left(|H(u, v)|^2 + \frac{S_f(u, v)}{S_g(u, v)} \right)} \right) G(u, v) \quad (5)$$

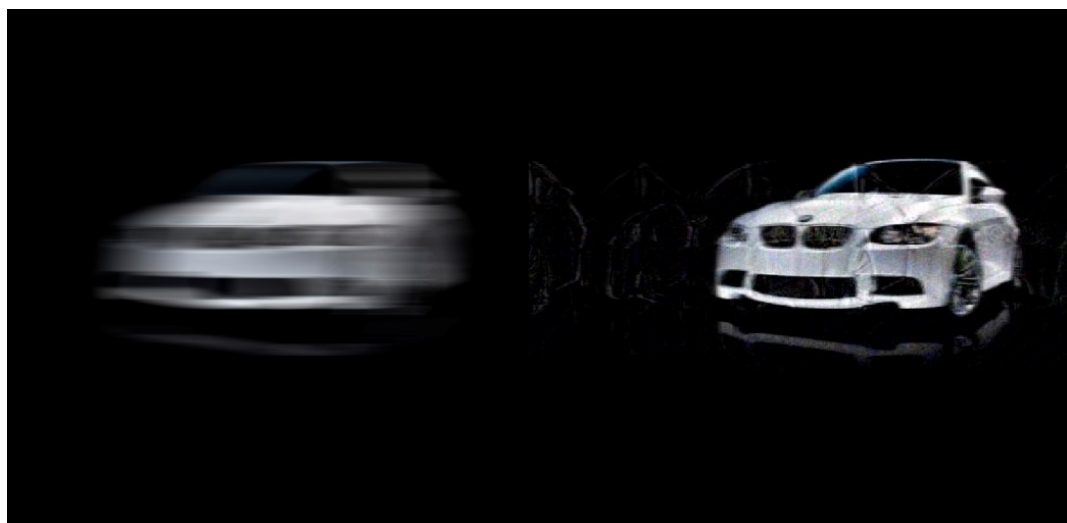
где $F(u,v)$ – восстановленное изображение, $H(u,v)$ –искажающая функция, $G(u,v)$ –искаженное изображение, S_n / S_f –заменяется константой $k = 0,00000000001$.

Результаты работы программного обеспечения для реального изображения с функцией смаза *out-of-focus blur* и *motion blur* на основе фильтрации Винера продемонстрированы на следующий изображениях (рис.1, рис. 2). В качестве параметров для функции смаза *out-of-focus blur* использовался $R = 9.5$, для функции смаза *motion blur* $L = 100$.



а) Смазанное изображение б) Восстановленное изображение

Рис.1 - Результаты работы программного обеспечения для реального изображения на основе фильтрации Винера, *out-of-focus blur*



а) Смазанное изображение б) Восстановленное изображение

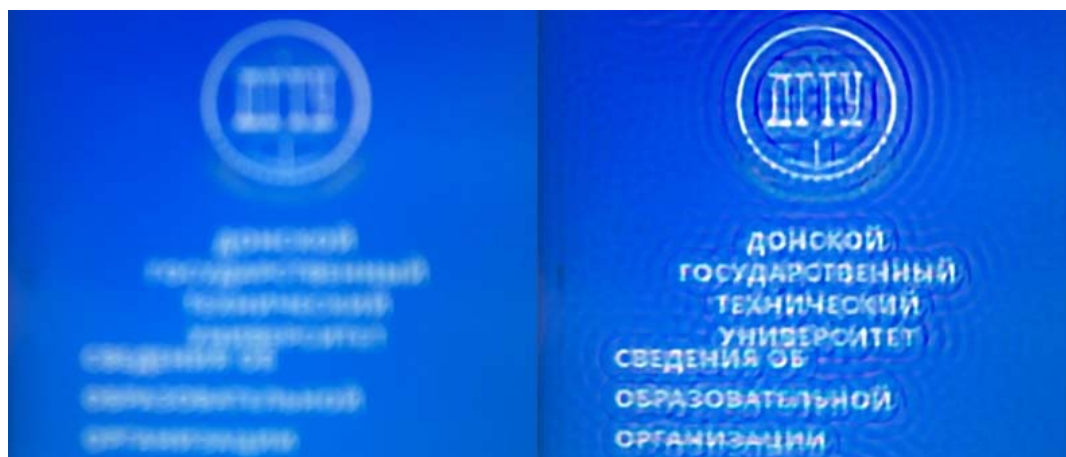
Рис.2 - Результаты работы программного обеспечения для реального изображения на основе фильтрации Винера, *motion blur*

Фильтрация по Тихонову или Тихоновская регуляризация. Идея данных методов заключается в формулировке задачи в матричном виде с дальнейшим решением соответствующей задачи оптимизации. Формула фильтрация по Тихонову приведена ниже[3, с. 8]:

$$\tilde{F}(u,v) = \left(\frac{H^*(u,v)}{|H(u,v)|^2 + \gamma |P(u,v)|^2} \right) G(u,v) \quad (6)$$

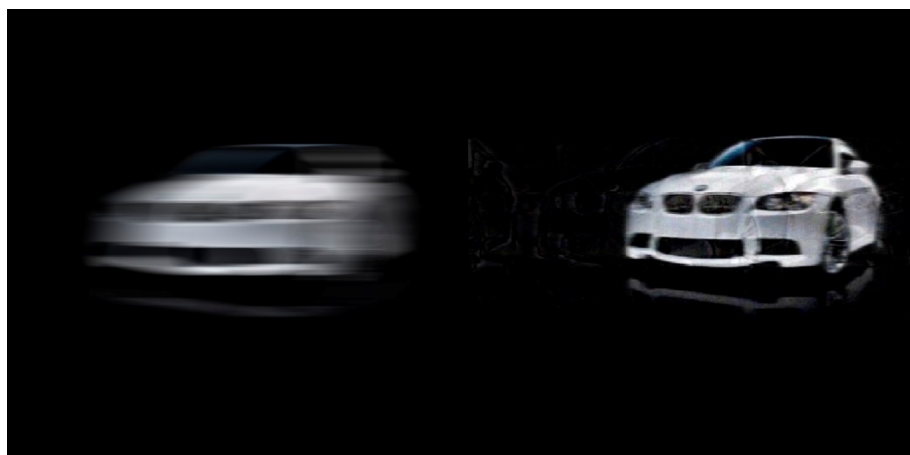
где $\tilde{F}(u,v)$ – восстановленное изображение, $H(u,v)$ –искажающая функция, γ – параметр регуляризации, а $P(u,v)$ – Фурье-преобразование оператора Лапласа, $G(u,v)$ –искаженное изображение.

Результаты работы программного обеспечения для реального изображения с функцией смаза *out-of-focus blur* и *motion blur* на основе фильтрации Тихонова продемонстрированы на следующий изображениях (рис. 3, рис. 4). В качестве параметров для функции смаза *out-of-focus blur* использовался $R = 9.4$, для функции смаза *motion blur* $L = 100$.



а) Смазанное изображение б) Восстановленное изображение

Рис. 3 - Результаты работы программного обеспечения для реального изображения на основе фильтрации по Тихонову, *out-of-focus blur*



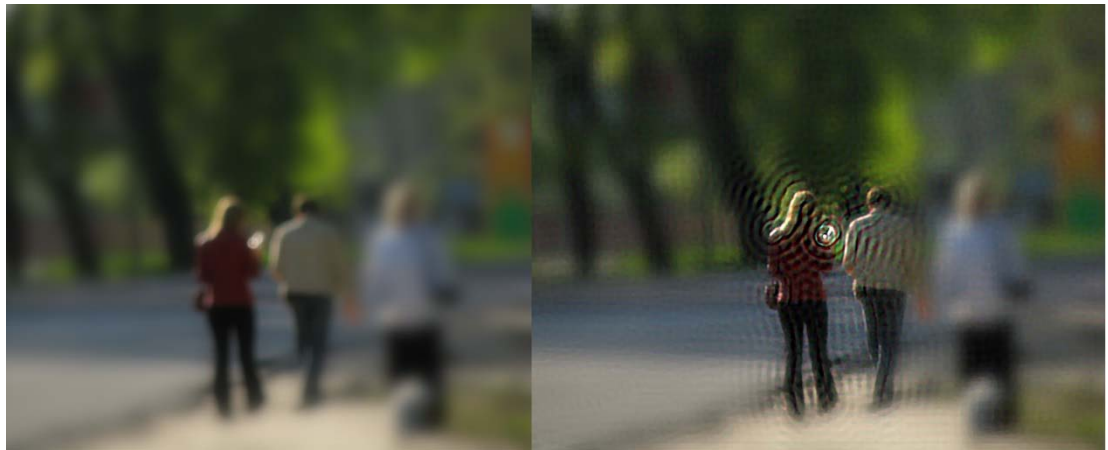
а) Смазанное изображение б) Восстановленное изображение

Рис. 4 - Результаты работы программного обеспечения для реального изображения на основе фильтрации по Тихонову, *motion blur*

Разработанная программа позволяет загружать фотографии формата jpeg, png, jpg и размерности до 1027*768. Вычислительный эксперимент производился на компьютере ASUS N56 (Intel® Core™ i7-3630QM, CPU @2.40 GHz, ОЗУ 8 ГБ, 64 – разрядная ОС), под управлением ОС Windows 8.

Целью эксперимента было определение эффективности использования алгоритмов Винера и Тихонова для деконволюции изображения. В качестве критериев эффективности использовалось время выполнения при различных размерностях изображения. Время работы определялось объективно.

На основании результатов, полученных при проведении серии экспериментов, установлено, что в среднем результат восстановления при помощи данного фильтра будет наилучшим, однако это не означает, что результат будет таковым для каждого определенного изображения (рис. 5).



а) Смазанное изображение б) Восстановленное изображение

Рис. 5 –Максимально приемлемый результат восстановления для данного изображения

В таблице приведены данные, отражающие зависимость времени выполнения алгоритма от размерности восстановленного изображения.

Таблица – Оценка методов для деконволюции изображения

Вид фильтра	Время выполнения алгоритма (сек)					
	512*512	612*612	712*712	812*812	912*912	1024*1024
Фильтр Винера	1,3	2,12	2,55	2,89	3,35	4,12
Фильтрация по Тихонову	1,32	2,18	2,62	3,08	3,43	4,21

На рис. 6 по оси абсцисс отображена размерность воссанавливаемого изображения, измеряемая в пикселях, по оси ординат – время восстановления изображения соответствующим методом, измеряемое в секундах.

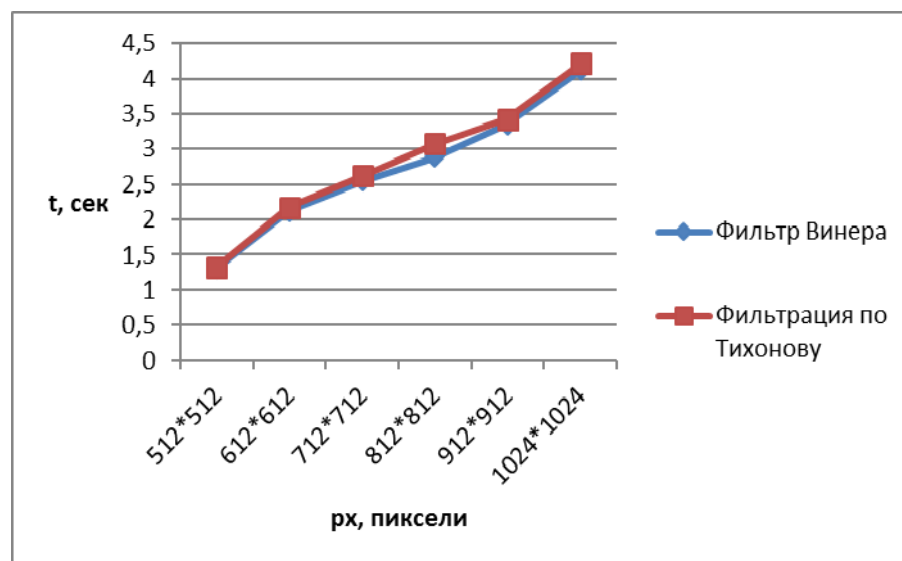


Рис. 6—Зависимость времени работы алгоритмов от размерности восстанавливаемых изображений

Согласно графику, изображенному на рисунке 6 можно сделать вывод, что фильтр Винера эффективнее справляется с восстановлением расфокусированных изображений.

Заключение

1. Проведен краткий обзор функции смаза и дефокусировки изображений.
2. Рассмотрены основные алгоритмы для восстановления расфокусированных изображений.
3. Реализовано программное обеспечение для восстановления расфокусированных изображений в среде *Microsoft Visual Studio 2012*. Для преобразования Фурье использовалась библиотека – *aForge*.
4. Определена зависимость времени выполнения алгоритма от размерности восстанавливаемого изображения. Установлено, что временная сложность фильтра Винера приблизительно в 1,1 раза меньше временной сложности регуляризации Тихонова.

Работа выполнена при поддержке РФФИ проект № 16-01-00390.

Литература

1. Che-Yen Wen, Chien-Hsiung Lee. Point spread functions and their applications to forensic image restoration. Forensic Science Journal. 2002;pp. 15-26
2. Хуанга, Т. Обработка изображений и цифровая фильтрация / Т. Хуанга. М.: Мир, 1979. – С.320
3. Вольфганг Стефан, Общая вариация, Регуляризация для линейных некорректных обратных задач: расширения и приложения, 2008. 151с.
4. Пасечник П.А., Белая Т.И., Терехов В.Г. Восстановление изображений с помощью битовых плоскостей в автоматизированных системах управления и обработки информации //Инженерный вестник Дона, №3, 2015URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3189.
5. Туан Зунг Нгуен. Алгоритмы ускоренной обработки изображений препятствий в системе технического зрения робота. Инженерный вестник Дона, №1, ч.2, 2015URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2855.
6. Андерсон Т.Статистический анализ временных рядов / Андерсон Т. – М.: Мир, 1976. – с.756
7. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. –с. 1072
8. RichardsonW. H. Bayesian-Based Iterative Method of Image Restoration, М.: Journal of the Optical Society of America, 1972. - pp. 55-59.
9. Тихонов В.И.Статический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем связи / В.И. Тихонов, В.Н. Харисов. – М.: Радио и связь, 2004. – С. 608.
10. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессия. М.: Финансы и статистика, 1981. – С. 302.

11. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячаялиния - Телеком, 2002. - С. 382.

References

1. Che-Yen Wen, Chien-Hsiung Lee. Forensic Science Journal. 2002; pp. 15-26
 2. Khuanga, T., Obrabotka izobrazheniy i tsifrovaya fil'tratsiya [Image processing and digital filtering], Mir, 1979. 320p.
 3. Vol'fgang Stefan, Obshchaya variatsiya, Regularizatsiya dlya lineynykh nekorrektnykh obratnykh adach: rasshireniya i prilozheniya [General variation, Regularization for linear inverse inverse problems: extensions and applications], 2008. 151 p.
 4. Pasechnik P.A., Belaya T.I., Terekhov V.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), №3, 2015. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3189.
 5. Tuan ZungNguen. Inženernyj vestnik Dona (Rus), №1, part2, 2015 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2855.
 6. Anderson T., Statisticheskiy analiz vremennykh ryadov [Statistical analysis of time series]. Mir, 1976. 756 p.
 7. Gonsales R., Vuds R., Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy [Digital image processing], Tekhnosfera. 2005. 1072 p.
 8. Richardson W. H. Journal of the Optical Society of America. 1972. pp. 55-59.
 9. Tikhonov V.I., V.N. Kharisov., Statcheskiy analiz i sintez radiotekhnicheskikh ustroystv i system svyazi [Static analysis and synthesis of radio engineering devices and communication systems], Radio i svyaz'. 2004. 608 p.
 10. Demidenko E.Z., Lineynaya i nelineynaya regressiya [Linear and nonlinear regression], Finansy i statistika. 1981. 302 p.
-



11. Kruglov V.V., Borisov V.V., *Iskusstvennye neyronnye seti. Teoriya i praktika* [Artificial neural networks. Theory and practice], Goryachyaliniya Telekom. 2002. 382 p.