

ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ХИНТОВАНИЕМ НА ОСНОВЕ РАЗРЕЖЕННОГО ГРАДИЕНТА

Алексей Лукин

Лаборатория математических методов обработки изображений,
факультет ВМК МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

1. Введение

Существует множество алгоритмов для повышения разрешения и масштабирования цифровых изображений. Простейшие методы, называемые линейными, осуществляют интерполяцию с помощью полифазной фильтрации [1]. К этому классу относятся метод ближайшего соседа, билинейная и бикубическая интерполяции, фильтр Ланцоша и др. Типичные артефакты, вызываемые линейными методами, таковы: размытость деталей, эффект Гиббса (ложное оконтуривание) и зазубренность наклонных границ. Одновременно подавить все 3 артефакта линейными методами невозможно.

Более сложные методы интерполяции анализируют изображение и адаптируют веса интерполяции для уменьшения размытия границ. Адаптация может быть явной, когда веса интерполяции вдоль градиента изображения уменьшаются [2], и неявной, как в методе NEDI [3].

Наиболее качественных результатов достигают методы суперразрешения [4], итерационно получающие результирующее изображение как решение системы уравнений $Ax = b$ с использованием регуляризации. Здесь x – искомое изображение высокого разрешения, b – известное изображение низкого разрешения, A – линейный оператор уменьшения (фильтрация + прореживание).

В этой статье рассматривается задача качественного уменьшения схематичных изображений, эмблем. При этом нас интересует только «чистое» масштабирование, без использования ретаргетинга [5]. На первый взгляд, уменьшающая интерполяция изображения методом полифазной фильтрации не вызывает трудностей. Однако здесь будут предложены методы получения изображений повышенной чёткости с помощью специального выбора ядра фильтрации и поиска оптимальных субпиксельных сдвигов (хинтования).

2. Полифазная фильтрация

Традиционным способом уменьшения изображений является линейная интерполяция изображения на новой сетке пикселей: билинейная или бикубическая. Недостатком этого метода является эффект наложения спектров (алиасинга), который проявляется тем сильнее, чем больше коэффициент уменьшения. Например, при уменьшении изображения в 4 раза (по каждой оси) требуется уменьшить ширину спектра изображения также в 4 раза. Стандартные методы интерполяции, используемые для увеличения, этой цели не достигают. Поэтому в некоторых системах используется либо дополнительная префильтрация изображения, либо «ступенчатое» (многоступенчатое, постепенное) уменьшение с фильтрацией/интерполяцией на каждом шаге. Результаты таких эвристических подходов неоптимальны, т.к. теряется контроль над спектром сигнала и импульсным откликом фильтра передискретизации.

Метод полифазной фильтрации для уменьшения изображений описан, например, в [6]. Если коэффициент масштабирования равен дроби $\frac{M}{N} < 1$, то алгоритм концептуально состоит из 3 стадий:

1. интерполяция нулями в M раз,
2. фильтрация с частотой среза $\omega = \frac{\pi}{N}$,
3. прореживание сигнала в N раз.

В целях оптимизации эти 3 стадии объединяются в одну, называемую полифазной фильтрацией. При этом отсчёты результирующего сигнала непосредственно выражаются через отсчёты входного сигнала и полифазные компоненты ядра фильтра $h(n)$ со второй стадии. Принципиальным моментом при проектировании фильтра $h(n)$ является более низкая частота среза ω по сравнению с билинейной или бикубической интерполяцией. Это позволяет эффективно подавить наложение спектров и получить результирующее изображение без муара и зазубренных краёв.

Для интерполяции изображений традиционно используются фильтры с пологой АЧХ и малым числом боковых лепестков, такие как фильтры Ланцоша с 2 и 3 лепестками. Поскольку АЧХ в районе среза у таких фильтров пологая, то частота среза ω определяется достаточно условно. Это делает возможным намеренное масштабирование частоты среза для получения более резких либо более гладких изображений.

3. Хинтование

При компьютерной растеризации текста часто используется процесс, называемый хинтованием (или хинтингом). Он заключается в выравнивании линий шрифта с пиксельной сеткой устройства отображения (дисплея) для повышения чёткости символов. Как правило, хинтование шрифтов – лишь наполовину автоматический процесс; он управляется командами, содержащимися в файле шрифта. Хинтование особенно важно, когда шрифты растеризуются с малым кеглем и толщина линий становится сравнима с размером пикселя.

При масштабировании многих изображений, особенно содержащих схематическую графику или логотипы, также актуальна проблема хинтования. Без хинтования субпиксельный сдвиг результирующего изображения выбирается при масштабировании фиксированным образом, зависящим от алгоритма. При этом в ряде случаев полученное изображение значительно теряет в чёткости. Например, это случается, когда изображение содержит текст, и базовая либо медианная линии шрифта оказываются не выровнены с пиксельной сеткой.

На рис. 1 показан простейший пример уменьшения светлого прямоугольника на тёмном фоне. Без хинтования границы прямоугольника попали в случайные положения пиксельной сетки, что привело к их размытию. С хинтованием же границы прямоугольника оказались выровнены с пиксельной сеткой.

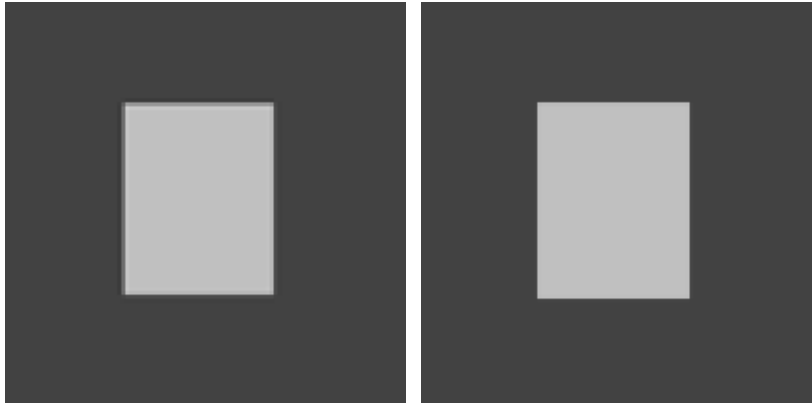


Рис. 1. Слева – результат уменьшения без хинтования, справа – с хинтованием.

В следующем разделе предлагается алгоритм для автоматического хинтования произвольных изображений в процессе масштабирования.

4. Критерий разреженных градиентов

Для объективной оценки степени размытости изображения I предлагается использовать градиентное изображение ∇I . От модуля градиентного изображения будет вычисляться мера разреженности $S(I)$:

$$S(I) = \frac{N \sum_i |\nabla I_i|^2}{\left(\sum_i |\nabla I_i| \right)^2}$$

как квадрат отношения L^2 и L^1 -норм модуля градиента. Здесь N – число пикселей изображения, а i – индекс, пробегающий все пиксели изображения. Когда величина S велика, границы изображения локализованы (сосредоточены) в относительно малом числе пикселей, и изображение чёткое. Когда S мало, границы рассредоточены по большому числу пикселей, и изображение размытое.

5. Алгоритм автоматического хинтования

Задача предлагаемого алгоритма автоматического хинтования заключается в том, чтобы подобрать субпиксельные сдвиги и/или малые изменения масштаба, максимизирующие меру S . Предлагается решать эту задачу полным перебором на сетке субпиксельных сдвигов в диапазоне от -0.5 до $+0.5$ пикселя по вертикали и горизонтали. Также перебираются малые изменения масштаба в пределах от -1% до $+1\%$ (либо в заданных пользователем пределах).

Выбранные коррекции субпиксельного сдвига и масштаба передаются в алгоритм полифазной фильтрации. Далее изображение масштабируется с этими коррекциями и вычисляется мера S . Для окончательного масштабирования выбираются те коррекции, которые привели к максимальной S .

Для ускорения алгоритма можно отметить, что коррекции вертикальных сдвигов и вертикального масштабирования практически не влияют на разреженность горизонтальной составляющей градиента. Поэтому предлагается сделать подбор параметров сепарабельным (разделимым) по вертикали и горизонтали. Сначала ищутся коррекции для горизон-

тального масштабирования с помощью оценки разреженности горизонтальной составляющей градиента. Затем лучшее из результирующих изображений, сжатых по горизонтали, сжимается по вертикали с подбором коррекций по вертикальной составляющей градиента.

6. Результаты

В результате применения описанного алгоритма автоматического хинтования получаемые изображения становятся более чёткими. Алгоритм автоматически подбирает субпиксельные сдвиги для выравнивания доминирующих границ в изображении с пиксельной сеткой. Пример работы алгоритма показан на рис. 1 и 2 справа. Дополнительные примеры изображений можно получить на странице лаборатории: <http://imaging.cs.msu.ru>

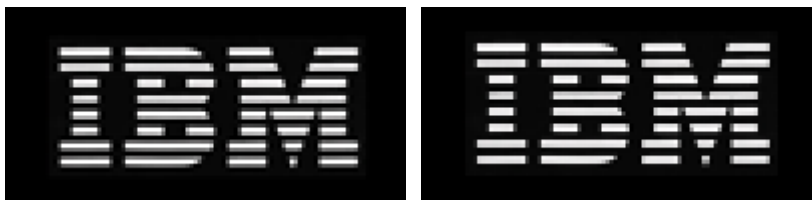


Рис. 2. Слева – логотип без хинтования, справа – с хинтованием.

Наибольшее значение предложенный алгоритм имеет для изготовления чётко выглядящих эмблем и логотипов в веб-дизайне.

7. Список литературы

- [1] Ken Turkowski “Filters for Common Resampling Tasks” // “*Graphics gems*”, pp. 147-165, Academic Press Professional, Inc., 1990.
- [2] Shuai Yuan, Masahide Abe, Akira Taguchi, Masayuki Kawamata “High Accuracy WADI Image Interpolation with Local Gradient Features” // *Proceedings of 2005 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems* pp. 85-88, 2005.
- [3] J.A. Leitao, M. Zhao and G. de Haan “Content-Adaptive Video Up-Scaling for High-Definition Displays” // *Proceedings of IVCP 2003*, vol. 5022, January 2003.
- [4] A. Lukin, A. Krylov, A. Nasonov "Image Interpolation by Super-Resolution" // *Proceedings of GraphiCon'2006, Novosibirsk Akademgorodok, Russia, July 2006*, pp. 239-242.
- [5] Shai Avidan, Ariel Shamir “Seam Carving for Content-Aware Image Resizing” // *Proceedings of SIGGRAPH 2007, ACM Transactions on Graphics*, vol. 26, no. 3, 2007.
- [6] H. Lee, C. Kim, D. Park, S. Lee, A. Lukin “Method of converting resolution of video signals and apparatus using the same” // *US Pat. 7375767*.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы и гранта РФФИ 10-01-00535-а.