**Журнал «Вестник компьютерных и информационных технологий»**

**Рубрика «Компьютерное зрение. Виртуальная реальность. Компьютерная графика и**

**геометрическое моделирование»**

УДК 004.925.3

Тихомирова Т.А. – к.ф-м.н, (ФГУП ГосНИИ Авиационных систем) г.

Tikhomirova T.A.

# «Снежинка»: самый быстрый билатеральный фильтр[[1]](#footnote-1)

*Аннотация*. Представлен билатеральный фильтр на основе трех пар одномерных детекторов границ и текстур, ориентированных по лучам снежинки. Показано, что трудоемкость вычислений пропорциональна логарифму размера фильтра благодаря применению быстрого локального преобразования Хафа. Продемонстрирована эффективность фильтра в задаче контрастирования границ и текстур на фоне гауссова шума.

Ключевые слова: билатеральный фильтр, быстрое преобразование Хафа, контрастирование границ и текстур, гауссов шум

Abstract: A new bilateral filter based on one-dimensional boundary and texture detectors is presented. Three pairs of detectors are oriented along snowflake rays. It is shown that the usage of fast local Hough transform provides logarithmic dependence between filter scale and calculation time. The filter robustness for boundaries and texture contrast enhancement in presence of gauss noise is demonstrated.

Key words: bilateral filter, fast Hough transform, boundary and texture contrast enhancement, gauss noise

## Введение.

Классический билатеральный фильтр [1] позволяет очистить изображение от гауссова шума, сохранив контраст границ объектов. В комбинированном пространстве координат и яркостей, где полутоновое изображение представляется выпуклой поверхностью, билатеральный фильтр эквивалентен *трехмерному* гауссову фильтру. В настоящее время гауссов фильтр имеет аппаратную поддержку в большинстве графических процессоров. Однако трехмерное представление изображений требует чрезмерного ресурса памяти и поэтому редко используется. Известные модификации билатерального фильтра [2-5] позволяют получить тот же – или очень похожий - результат с меньшими затратами за счет использования различных предположений и вычислительных технологий.

В данной статье представлен альтернативный подход к снижению трудоемкости билатерального фильтра. В его основе лежит понимание тесной связи билатерального фильтра с границами и текстурами изображения. В отличие от классического билатерального фильтра, где эта связь присутствует неявно, предлагаемый фильтр использует явные детекторы границ и текстур. Такой подход позволяет не только сократить до минимума объем вычислений, но и полностью раскрыть возможности билатеральной фильтрации в задачах обработки изображений.

## Структура и механизм фильтра «снежинка».

Основными компонентами предлагаемого фильтра являются направленные детекторы границ и текстуры. Функционально они аналогичны первой и второй пространственным производным, однако, в отличие от последних, вычисляются не локально.

Каждый детектор состоит из центрального элемента и двух противоположно направленных «лучей». Сигнал детектора границ B(**r**) вычисляется как абсолютная разность средних яркостей «лучей» детектора:

 (1)

где a(**r**) – локальная яркость изображения, L – длина «луча» фильтра, **k** – единичный вектор ориентации фильтра.

Сигнал детектора текстур T(**r**) вычисляется как разность между яркостью центрального элемента детектора и средней яркостью его «лучей»:

 (2)

Для расчета сигналов детекторов используется быстрое локальное преобразование Хаффа. Это обусловливает логарифмическую шкалу масштабов детекторов L=2d , где d – целое число. Соответственно общий размер детектора, включая центральный элемент, составляет D=1+2L пикселей.

Выходной сигнал фильтра Q(**r**) представляет собой суперпозицию исходной яркости пикселя и сигнала детектора текстур, причем вес последнего определяется сигналом детектора границ:

 (3)

где параметры g и s отвечают за усиление и смещение сигнала детектора границ, а параметры α и β управляют режимом работы фильтра.

Очевидно, что полноценный фильтр должен включать детекторы различных ориентаций. В отсутствии приоритетных направлений на изображении оптимальной представляется структура типа «снежинка», включающая три пары детекторов, ориентированных по соответствующим лучам (рис.1а). Особенность этой структуры в том, что длины всех лучей равны между собой как в дискретной (число пикселей), так и в декартовой метрике. Следовательно, такой фильтр является *изотропным*, в отличие, например, от фильтра со структурой «двойной крест» (рис.1б). Однако при анализе изображений, имеющих приоритетные направления – индустриальные фоны, чертежи и т.д., структура «двойной крест» может оказаться предпочтительнее.

|  |
| --- |
|  |
| Рис.1 Структура фильтра «снежинка» (а) и «двойной крест» (б). |

Сигналы детекторов различных ориентация могут обрабатываться как параллельно, так последовательно. Может показаться, что *параллельная* комбинация их сигналов повысит «интеллектуальность» фильтра за счет более надежной классификации элементов изображения. Однако следует учитывать, что при *последовательном* применении «однонаправленных» фильтров каждый новый фильтр анализирует менее зашумленное изображение, чем его предшественник. Это дает определенные преимущества при высоком уровне шумов.

Предлагаемый фильтр «снежинка» имеет одноименную структуру и реализует *последовательную* схему обработки сигналов. Модификации фильтра будут рассмотрены после обзора его типовых применений.

## Функции фильтра «снежинка».

Основным применением билатерального фильтра является подавление гауссова шума без снижения контраста границ объектов. В данном разделе рассмотрено решение этой и ряда смежных задач с помощью фильтра «снежинка».

### Подавление гауссова шума.

Гауссов шум с нулевым средним «прозрачен» для детектора границ, но обнаруживается детектором текстур. Поэтому задачу удаления гауссова шума можно сформулировать как ***подавление текстуры, нормальной к границам объектов***.

Выходной сигнал фильтра определяется выражением (3), где параметры режима принимают следующие значения:

 (4)

В данном режиме конечная яркость каждого пикселя будет заключена между его исходной яркостью и средней яркостью соответствующей одномерной окрестности.

Пример фильтрации в режиме подавления текстур, включая гауссов шум, показан на рис.2.

Отметим особенности поведения сглаживающего фильтра в «сомнительных» областях.

Во-первых, области с текстурой, мелкой по сравнению с масштабом самого фильтра, воспринимаются им как однородные. Если их средняя яркость значительно отличается от яркости окружающего фона, текстура будет сохранена, в противном случае она будет удалена. Например, при фильтрации портрета черты лица будут сохранены, тогда как гауссов шум с нулевым средним будет удален (рис.2г).

Во-вторых, мелкие «заусенцы» на границах объектов, не видимые для детектора границ, будут удалены. Следовательно, после фильтрации граница будет иметь радиус кривизны не меньше масштаба фильтра.

|  |
| --- |
|  |
| Рис.2 Пример фильтрации в режиме подавления текстур. Показано оригинальное изображение (а) и выходные сигналы фильтра при длине «лучей» детектора L=2 (б), L=4 (в) и L=8 (г). |

### Усиление границ.

Заметим, что гауссов шум представляет собой текстуру, подавление которой неявным образом обеспечивает неявное контрастирование границ объектов. Однако следует понимать, что подавление гауссовых шумов с неизбежностью ведет к потере части значимых деталей изображения, ошибочно классифицированных как шумы. Поэтому при *низком* уровне шума более эффективным может оказаться явное усиление контраста границ при сохранении контраста текстур.

Соответствующая функция фильтра «снежинка» формулируется как ***усиление текстуры, касательной к границам объектов***. Подчеркнем, что в данном случае речь идет не о реальной текстуре, а об артифактах, возникающих в сигнале детектора текстур при пересечении границ объектов. За счет них в выходном сигнале фильтра «снежинка» светлые области изображения вблизи границ будут еще более осветлены, а темные – затемнены.

Очевидной реализацией этой концепции является следующий выбор параметров режима:

 (5)

Пример контрастирования границ объектов показан на рис.3

|  |
| --- |
|  |
| Рис.3 Пример фильтрации в режиме контрастирования границ объектов. Показано оригинальное изображение (а) и выходные сигналы фильтра при длине «лучей» детектора L=2 (б), L=4 (в) и L=8 (г). |

### Управление контрастом текстур.

Согласно нашей модели, идеальная текстура представляет собой *ворсинки*, нормальные к границам объектов либо изолированные от них. Нетрудно убедится, что такому определению удовлетворяет подавляющее большинство распространенных текстур.

Контрастная текстура придает изображениям особую выразительность. Однако повышение контраста текстуры имеет и практическое значение. В отличие от границ объектов, текстуры занимают значительную площадь изображения и несут ценную информацию, однако контрастные границы объектов зачастую мешают ее восприятию.

Повысить относительный контраст текстур можно как явно, так и неявно. Явное повышение контраста формулируется как *усиление текстур, нормальных к границам объектов либо удаленных от них*:

 (6)

Пример фильтрации в режиме контрастирования текстур показан на рис.4

|  |
| --- |
|  |
| Рис.4 Пример фильтрации в режиме контрастирования текстур. Показано оригинальное изображение (а) и выходные сигналы фильтра при длине «лучей» детектора L=2 (б), L=4 (в) и L=8 (г). |

Неявное повышение контраста текстур сводится к *подавлению текстур, касательных границам*. В этом случае светлые области изображения вблизи границ затемняются, а темные – осветляются.

 (7)

Пример фильтрации в режиме подавления границ показан на рис.5.

|  |
| --- |
|  |
| Рис.5 Пример фильтрации в режиме подавления границ. Показано оригинальное изображение (а) и выходные сигналы фильтра при длине «лучей» детектора L=2 (б), L=4 (в) и L=8 (г). Обсуждение. Сводная таблица функций фильтра представлена ниже. На рис.6-8 показаны примеры художественных эффектов, получаемых с помощью фильтра «снежинка».  Функции фильтра «снежинка».   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | Функция фильтра | Описание | Управляющие параметры | | | α | β | | подавление шума | сглаживание текстуры вдоль границ | -1 | 1 | | усиление границ | усиление компонент текстуры, параллельных границам | 0 | 1 | | усиление текстуры | усиление компонент текстуры, нормальных границам | 1 | -1 | | сглаживание границ | сглаживание компонент текстуры, нормальных границам | 0 | -1 | |
|  |

Отметим некоторые особенности фильтра:

1. Фильтр «снежинка» не может эффективно отличить точку от линии, поскольку даже совместный анализ сигналов всех трех детекторов текстур не дает достаточной для этого информации. Дискриминация точек и линий может быть достигнута за счет числа детекторов, т.е. увеличения *углового разрешения* фильтра. Однако хотя такой подход легко реализуется на графическом процессоре, он представляется слишком трудоемким. В работе [6] описан приближенный метод обнаружения и оценки ориентации фрагментов линий, который может быть использован для создания детектора линий.
2. В режиме подавления шума конечная ширина границ зависит как от масштаба фильтра, так и от углового разрешения. Прямая граница в худшем случае будет иметь толщину , где *-* угол между детекторами. Для классической «снежинки» , и соответственно .

|  |
| --- |
|  |
| Рис.6 Пример контрастирования текстуры естественного фона. |

|  |
| --- |
|  |
| рис.7 Пример подавления гауссова шума на контрастном рисунке. |

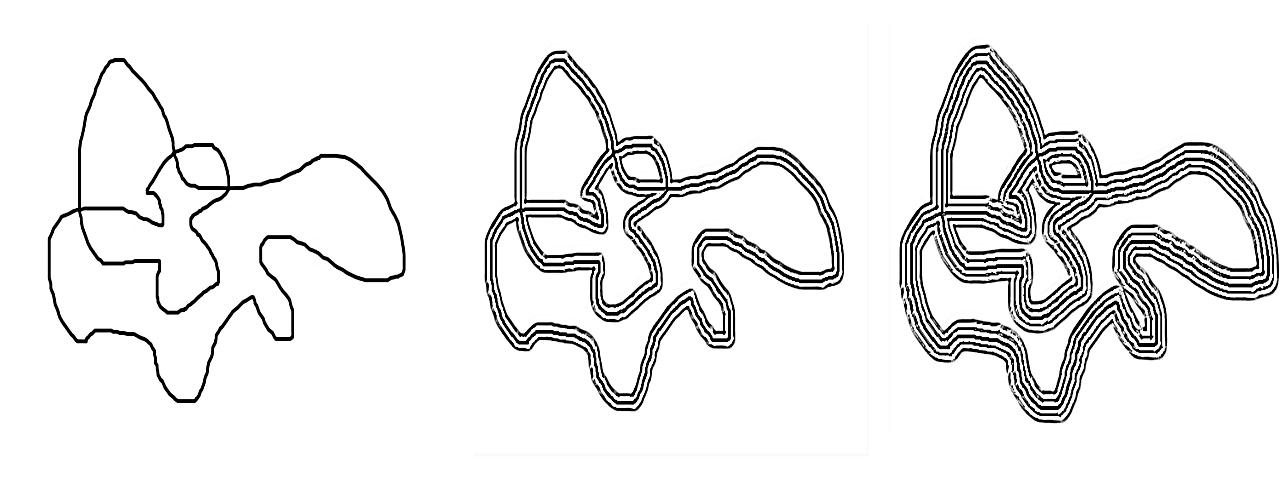


Рис.8 Пример эффекта дублирования сложных кривых в режиме усиления границ.

## Заключение.

Представленный в данной статье фильтр «снежинка» является непосредственной реализацией идеи билатерального фильтра: сглаживание изображения *по касательной* к границам объектов. Будучи изначально одномерным, фильтр «снежинка» реализует двумерные функции за счет *вращения* вокруг собственного центра.

Помимо подавления шумов, фильтр позволяет решать другие задачи повышения качества изображения. Реализация фильтра в формате DirectShow на центральном процессоре Intel Сore i3 2ГГц позволяет обрабатывать видеоматериал с размером кадра 640х480 в реальном времени.

## Литература.

1. C. Tomasi and R. Manduchi, “Bilateral filtering for gray and color images,” Proc. Int.

Conf. Computer Vision, 1998, pp. 839–846.

2. B. Weiss, “Fast median and bilateral filtering”, Proc. SIGGRAPH, 2006.

3. M. Elad, “On the origin of the bilateral filter and ways to improve it,” IEEE Trans. Image Processing, vol. 11, no. 10, pp. 1141–1151, October 2002

1. Sylvain Paris, Pierre Kornprobst, Jack Tumblin, Frґedo Durand « Bilateral Filtering:Theory and Applications», Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision,Vol. 4, No. 1 (2008) pp.1–73
2. S. Mattoccia, M. Viti, F. Ries, "*Near real-time Fast Bilateral Stereo on the GPU*", Best Paper Award at 7th IEEE Workshop on Embedded Computer Vision ([ECVW20011](http://computervisioncentral.com/content/ecvw2011)), CVPR Workshop, June 20, 2011, pp.137-145,Colorado Springs (CO), USA
3. Тихомирова Т.А., Федоренко Г.Т., Кириллова Л.Н. «Касательное накрытие контуров: синтез и применение», №7, стр.17-21, 2011

1. Статья подготовлена при поддержке РФФИ (проект №12-08-00271а) [↑](#footnote-ref-1)