

УДК 52—17

Новый алгоритм быстрой медианной фильтрации

П. П. Корсун

Предлагается новый алгоритм быстрой медианной фильтрации. Сравнительный анализ эффективности разработанного и классического алгоритмов показывает значительную экономию машинного времени. Для фильтра с апертурой в 81 элемент выигрыш во времени счета составляет ~ 32 раза.

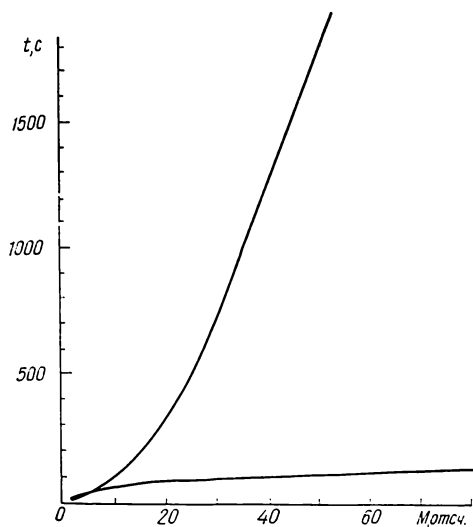
A NEW METHOD FOR FAST MEDIAN FILTERING, by Korsun P. P. — A new method for a real-time median filtering is suggested. The saving of computer time amounts to ~ 32 for the filter with the aperture of 81 elements.

Медианный фильтр предложен Тьюки в 1971 г. для сглаживания временных рядов, встречающихся в экономических исследованиях. Однако благодаря некоторым ценным качествам, он находит все большее применение при обработке изображений. Основные из них: 1) медианная фильтрация сохраняет резкие перепады в сигналах, тогда как линейная низкочастотная фильтрация смазывает такие перепады; 2) медианные фильтры очень эффективны при сглаживании импульсного шума.

Известны примеры применения медианной фильтрации для обработки астрономических изображений. Фриден [3] использовал медианный фильтр для оценки фона при восстановлении изображения слабого фрагмента галактики «Борода». Применение этого алгоритма позволило ему избавиться от эффекта искусственного гало, связанного с неполным гашением функции рассеяния точки. Р. А. Варданян и др. [2] применили несколько модифицированный вариант медианного фильтра для предварительной цифровой фильтрации изображений шарового скопления М92 и галактики Маркарян 314. Оказалось, что предварительная цифровая обработка с использованием медианного фильтра дает возможность обнаружить звезды не менее чем на 1.0^m слабее по сравнению с фотометрией без цифровой фильтрации. Предварительная фильтрация изображения области галактики Маркарян 314 позволила уверенно отождествить сверхассоциацию, расположенную вблизи галактики, в то время как на исходном изображении не обнаружены даже следы изображения предполагаемой сверхассоциации.

Принцип медианной фильтрации заключается в следующем. Медианной последовательности $Y(1), \dots, Y(M)$, где M — нечетное, является член ряда, занявший среднюю, то есть $(M-1)/2$ позицию после упорядочения последовательности по возрастанию. Например, медиана $(0, 3, 4, 0, 7) = 3$. Процедура медианной фильтрации выглядит следующим образом. Имеется последовательность $X(i), i=1, N$. Далее выбирается апертура фильтра M (предположим $M=5$). В начальном положении эта апертура в исходной последовательности будет определять данные $X(1), \dots, X(5)$, медиана которых даст первый элемент отфильтрованной последовательности. После этого апертура сдвигается на один элемент, определяя при этом новый набор данных $X(2), \dots, X(6)$, из которого находится второй элемент отфильтрованной последовательности. Так продолжается до тех пор, пока не исчерпается исходная последовательность. Новая последовательность будет короче исходной на $(M-1)$ элементов. Более подробно медианные фильтры и их модификации описаны в [1].

Классический вариант медианной фильтрации для вычислений на ЭВМ состоит в том, чтобы из M значений начального положения апертуры найти максимальное, приравнять его нулю, затем найти второй максимум, также приравнять его нулю и т. д., до тех пор пока не будет найден $(M-1)/2$ максимум. Это и будет первый элемент медианной фильтрации. Аналогично находятся остальные элементы при движении апертуры вдоль исходной последовательности.



Затраты машинного времени на реализацию нового и классического алгоритмов медианной фильтрации

Количество элементов в апертуре	Время счета, с	
	Классический метод	Предлагаемый метод
3	16	29
5	32	45
9	83	60
25	565	78
49	1833	118
81	4701	148
121	—	166
225	—	237
441	—	338
625	—	431
961	—	586

◀ Возрастание эффективности предлагаемого алгоритма быстрой медианной фильтрации с ростом количества отсчетов в апертуре фильтра

При обработке больших двумерных изображений и применении больших апертур реализация классического метода медианной фильтрации требует значительных затрат машинного времени. В связи с этим возникла проблема нахождения более оптимальных вычислительных алгоритмов для медианной фильтрации, реализация которых с вычислительной точки зрения была бы более приемлемой.

Известны два варианта алгоритмов быстрой медианной фильтрации. Один из них принадлежит Фридену [3]. Как отмечалось выше, Фриден разработал свой алгоритм для борьбы с эффектом искусственного гало при оценке фона. В основу алгоритма положено то, что, поскольку фон является гладким, выход медианного фильтра почти не будет изменяться от элемента к элементу изображения. Поэтому, если поиск последующей медианы начать с медианы, найденной для предыдущего случая, то на практике для нахождения каждого нового выходного значения необходимы одна или две проверки. Эффективность этого алгоритма проверялась для изображения 100×100 элементов, диаметр апертуры круговой формы выбирался равным 31 элементу, что по площади составляет 675 элементов. Быстрый алгоритм давал выигрыш примерно в 5 раз.

Хуанг и др. [1] предложили еще один быстрый алгоритм медианной фильтрации с произвольной апертурой. Используется тот факт, что при смещении апертуры убирается только часть отсчетов, содержащихся в апертуре, и столько же отсчетов добавляется. При начальном положении апертуры вычисляются: гистограмма распределения значений, медиана и число элементов изображения, значения которых меньше медианы. При движении апертуры эти значения специальным образом корректируются. Эффективность этого алгоритма можно оценить по значению математического ожидания: $\bar{c} = 2n + |\bar{d}| + 1.5 + 0.5 P_0$, где n — число строк в апертуре фильтра, \bar{d} — среднее значение медианы d_i ,

$P_0 = \text{Prob}(d=0)$ — вероятность того, что значение медианы равно нулю. Поскольку экспериментальные результаты показывают, что $|\bar{d}|$ мало, возможна значительная экономия времени вычислений, особенно при больших размерах апертуры.

В предлагаемом ниже варианте за основу также берется тот факт, что в апертуре при ее смещении заменяется только часть отсчетов, но практическая реализация организована иным способом. Сначала отсчеты, которые определяет апертура фильтра в начальном положении, сортируются по возрастанию их значений. Элемент, который займет среднее положение, будет составлять первый отсчет выхода медианного фильтра. Далее апертура сдвигается на один элемент. Пары отсчетов, которые добавляются и убираются из апертуры, сравниваются с отсчетами, отсортированными при предыдущем положении апертуры. Находятся номер отсчета, который убирается из апертуры, и номер отсчета, перед которым должен помещаться добавляемый элемент, так чтобы не нарушить сортировки. После этого та часть отсчетов апертуры, которая находится между этими точками, сдвигается в сторону убираемого элемента, а на освободившееся место помещается вводимый элемент. Такие же операции проводятся и для остальных пар отсчетов. После завершения этого цикла на выходе вновь получается отсортированная последовательность. Далее при движении апертуры вдоль последовательности вышеперечисленные операции повторяются, пока не исчерпается весь список исходного массива. На выходе получаем окончательно отфильтрованную последовательность.

Существенную экономию времени, особенно для больших апертур, дает и то, что поиск номеров отсчетов для вводимого и убираемого элементов производится по методу последовательного деления числовой последовательности пополам. При этом число сравнений растет пропорционально не M (где M — число отсчетов в апертуре), а $\log_2 M$.

Эффективность этого алгоритма исследовалась для одномерного случая. Входная последовательность составляла 16384 отсчета, что соответствует 128×128 отсчетам двумерного массива. Набор данных генерировался с помощью датчика случайных чисел. Расчеты проводились на ЭВМ ЕС-1022.

Были составлены две программы на языке ФОРТРАН IV. В одной из них реализован классический алгоритм медианной фильтрации, а в другой — алгоритм автора. Время счета оценивалось по разности между моментами выхода и входа этих подпрограмм. Результаты эксперимента представлены в таблице. Вычисления с использованием классического подхода для апертур, состоящих более чем из 81 элемента, не проводились из-за неоправданно большой траты машинного времени. Анализ этой таблицы подтверждает значительную эффективность нового алгоритма. Достаточно отметить, что уже для апертуры в 81 элемент выигрыш во времени счета составляет примерно 32 раза. Общая тенденция возрастания эффективности этого алгоритма с ростом количества отсчетов в апертуре хорошо прослеживается на рисунке.

По сравнению с двумя вышеописанными алгоритмами быстрой медианной фильтрации новый алгоритм имеет следующие преимущества: 1) большая скорость реализации; 2) отсутствие зависимости от степени гладкости исходной последовательности, как в алгоритме Фридена; 3) отсутствие зависимости от $|\bar{d}|$, как в случае алгоритма Хуанга.

В заключение необходимо отметить те классы задач, для которых целесообразно применение медианных фильтров: 1) редактирование данных с неправдоподобными значениями [4]; 2) подавление импульсных помех; 3) сглаживание нежелательных пиков в спектре сигнала в частотной области; 4) предварительная фильтрация обрабатываемых сигналов; 5) оценка медленно меняющегося тренда; 6) обнаружение границ; 7) выделение объектов на изображении и др.

1. *Быстрые* алгоритмы в цифровой обработке изображений / Под ред. Т. С. Хуанга.— М. : Радио и связь, 1984.—221 с.
2. *Варданян Р. А., Мирзоян М. С., Погосян Т. А.* Применение предварительной цифровой фильтрации для обработки изображений астрономических объектов // Докл. АН АрмССР.—1981.—72, № 3.— С. 162—168.
3. *Компьютеры* в оптических исследованиях / Под ред. Б. Фридена.— М. : Мир, 1983.— 485 с.
4. *Отнес Р., Энноксон Л.* Прикладной анализ временных рядов.— М. : Мир, 1982.—428 с.

Глав. астрон. обсерватория АН УССР,
Киев

Поступила в редакцию 13.08.85,
после доработки 23.09.85

РЕФЕРАТ ДЕПОНИРОВАННОЙ РУКОПИСИ

УДК 523.64

КАТАЛОГ МИНИМАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ОРБИТАМИ КОМЕТ И БОЛЬШИХ ПЛАНЕТ / Бабенко Ю. Г., Коноплева В. П.

(Рукопись деп. в ВИНТИ; № 1174—В86)

Для исследования молодой быстро эволюционирующей подсистемы небесных тел, какой является кометный комплекс, представляет интерес выяснение взаимодействия этого комплекса с большими планетами Солнечной системы. До настоящего времени эта работа проводилась путем выборочного изучения эволюции отдельных реальных периодических комет. Однако возможен и другой подход для выяснения роли больших планет в эволюции комет, а именно — анализ ряда параметров, которые можно определить для всех комет. Одним из наиболее важных параметров такого рода являются минимальное расстояние между орбитами кометы и большой планеты.

Минимальные межорбитальные расстояния (R_{\min}) определены по методу, предложенному Н. Н. Васильевым для нахождения минимальных расстояний между эллиптическими орбитами и расширенному Ю. Г. Бабенко на орбиты других типов. Новый алгоритм гарантированно находит абсолютный минимум межорбитального расстояния комета — планета для всех типов орбит комет (эллиптических, параболических и гиперболических). С использованием указанного алгоритма составлена программа на языке ФОРТРАН для нахождения R_{\min} .

Рассмотрен также вопрос о погрешности определения R_{\min} при заданном интервале истинной аномалии для орбиты кометы, используемой для определения интервала параметра, в котором находится корень функции расстояния между точками орбит планеты и кометы. По разработанной программе на ЭВМ ЕС-1022 вычислены минимальные расстояния между орбитами всех больших планет и орбитами комет, а также значения истинных аномалий кометы ($V_{\text{ком}}$) и планеты ($V_{\text{пл}}$), соответствующих минимальному межорбитальному расстоянию. Элементы кометных орбит взяты из четвертого издания каталога Марсдена, содержащего данные для 1109 появлений комет. Для планет использованы средние элементы орбит, отнесенные к средней эклиптике и равноденствию эпохи 1950.0. Приведены результаты расчетов для Меркурия, Венеры и Земли (табл. 1), Марса, Юпитера и Сатурна (табл. 2), Урана, Нептуна и Плутона (табл. 3). Кроме R_{\min} , в них приведены значения $V_{\text{ком}}$ и $V_{\text{пл}}$. С целью облегчения анализа данных каталога приведены списки комет с периодами обращения меньше 200 лет, наблюдавшихся в двух и более появлениях (табл. 4) и в одном появлении (табл. 5). Указаны также вероятно периодические кометы из числа тех, для которых в каталоге Марсдена даны параболические орбиты.