

УДК 621

Д.П. Кутергин, А.В. Терлецкий канд. техн. наук

Математическое моделирование алгоритмов фильтрации стохастической составляющей оптических сигналов в системах технического зрения

Проведено математическое моделирование двух алгоритмов обработки изображения на основе реальных входных данных. Проведен спектральный анализ выходных характеристик алгоритмов. Синтезированы цифровые фильтры для уменьшения шумовой составляющей в выходных характеристиках и проведена оценка эффективности фильтрации.

Mathematical modeling for two image processing algorithms based on a realistic input signals was realised. Spectral analysis of the output characteristics of both algorithms is performed. Digital filters were synthesized to suppress the noises of algorithms output characteristics and each filter's effectiveness is estimated.

Введение

В настоящее время в различных областях науки и техники широкое применение находят системы технического зрения (СТЗ). Выбор алгоритма обработки оптического сигнала для каждой конкретной СТЗ оказывает определяющее влияние на ее параметры и характеристики.

Так, например, в СТЗ бесконтактного лазерного уровнемера [1] на основе обработки входного оптического сигнала определяется положение уровня поверхности контролируемого расплава в плавильной печи, или тигле. Для такой задачи было предложено два алгоритма обработки стохастического оптического сигнала: алгоритм на основе определения центра тяжести пятна лазерного излучения и алгоритм на основе определения весовых коэффициентов яркости пятна лазерного излучения в полуокнах изображения (в дальнейшем алгоритм «центра тяжести» и алгоритм «полуокон») [2].

Для определения параметров и характеристик обоих алгоритмов обработки оптического сигнала использованы методы математического моделирования. Анализ полученных результатов позволил определить характерные недостатки и преимущества обоих методов [2]. Это позволило ввести дополнительные корректировки в реализацию алгоритмов, например, ввести процедуру компенсации фоновой составляющей входного оптического сигнала.

Проведенные исследования [2] позволили получить для обоих алгоритмов обработки сигналов характеристики выходного сигнала на основе использования при моделировании идеализированных входных сигналов в виде двумерного гауссового распределения яркости в пятне лазерного излучения. Однако, распределение яркости в пятне лазерного излучения, прошедшей через реальную среду распространения, существенно отличается от идеализированного распределения. Примером такого входного сигнала могут служить реализации изображения пятна лазерного излучения, полученные покадровым разложением телевизионной камерой и регистрацией компьютерным устройством обработки телевизионных изображений «Direcon-A02» [3] рис.1.

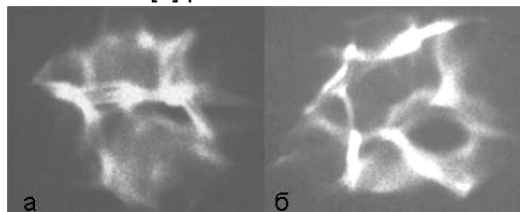


Рис. 1. Изображение пятна отраженного лазерного луча. а, б – запись одного кадра.

Целью данной работы является исследование с помощью методов математического моделирования алгоритмов «центра тяжести» и «полуокон», при условии входных воздействий, соответствующих реализациям реальных оптических сигналов, получение и исследование характеристик обоих алгоритмов, а также спектральный анализ выходных сигналов для обоих вариантов.

Моделирование процессов обработки входного оптического сигнала.

В работе [2], было проведено сравнительное моделирование двух алгоритмов обработки: алгоритма «центра тяжести» и алгоритма «полуокон». Математические модели этих алгоритмов следующие [2]:

- для алгоритма «центра тяжести»:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^K k \sum_{m=1}^M z_{km}}{\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M z_{km}}. \quad (1)$$

- для алгоритма «полуокон»:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M z_{km} - \sum_{k=1}^{\frac{K}{2}} \sum_{m=1}^{\frac{M}{2}} z_{km}}{\frac{K}{2} \cdot M}, \quad (2)$$

где для (2), (3) \bar{y} - вычисленное положение объекта наблюдения, K, M - размеры активного окна сенсора соответственно по вертикали и по горизонтали, z_{km} - значение яркости k, m -го пикселя сенсора.

При моделировании в качестве входного воздействия на модели алгоритмов обработки использовалась последовательность из 239 кадров, представляющих собой реализации входного оптического сигнала, полученные разложением непрерывного оптического сигнала на кадры с помощью устройства обработки телевизионных изображений «Direcon-A02» [3], с кадровой частотой 25 Гц. Для уменьшения влияния переходных процессов при фильтрации, а также для увеличения разрешающей

способности спектрального анализа выходного сигнала моделей алгоритмов, данная последовательность была увеличена по длительности в 8 раз путем копирования фрагментов по 239 кадров (в дальнейшем эта последовательность – входная последовательность). Побочным эффектом такого способа формирования входной последовательности является возникновение на спектральных характеристиках дополнительной паразитной гармоники, соответствующей частоте повторения фрагментов последовательности по 239 кадров. Каждый кадр входной последовательности имеет вид, подобный изображенному на рис. 1. Двумерное распределение яркости одного кадра имеет вид рис. 2.

Заданное вертикальное смещение (по оси Y рис. 2) изображения пятна лазерного излучения каждого кадра входной последовательности установлено на уровне 512 пикселей, т.е. на середине динамического диапазона входного сигнала, что соответствует наибольшей чувствительности обоих алгоритмов обработки оптического сигнала [2].

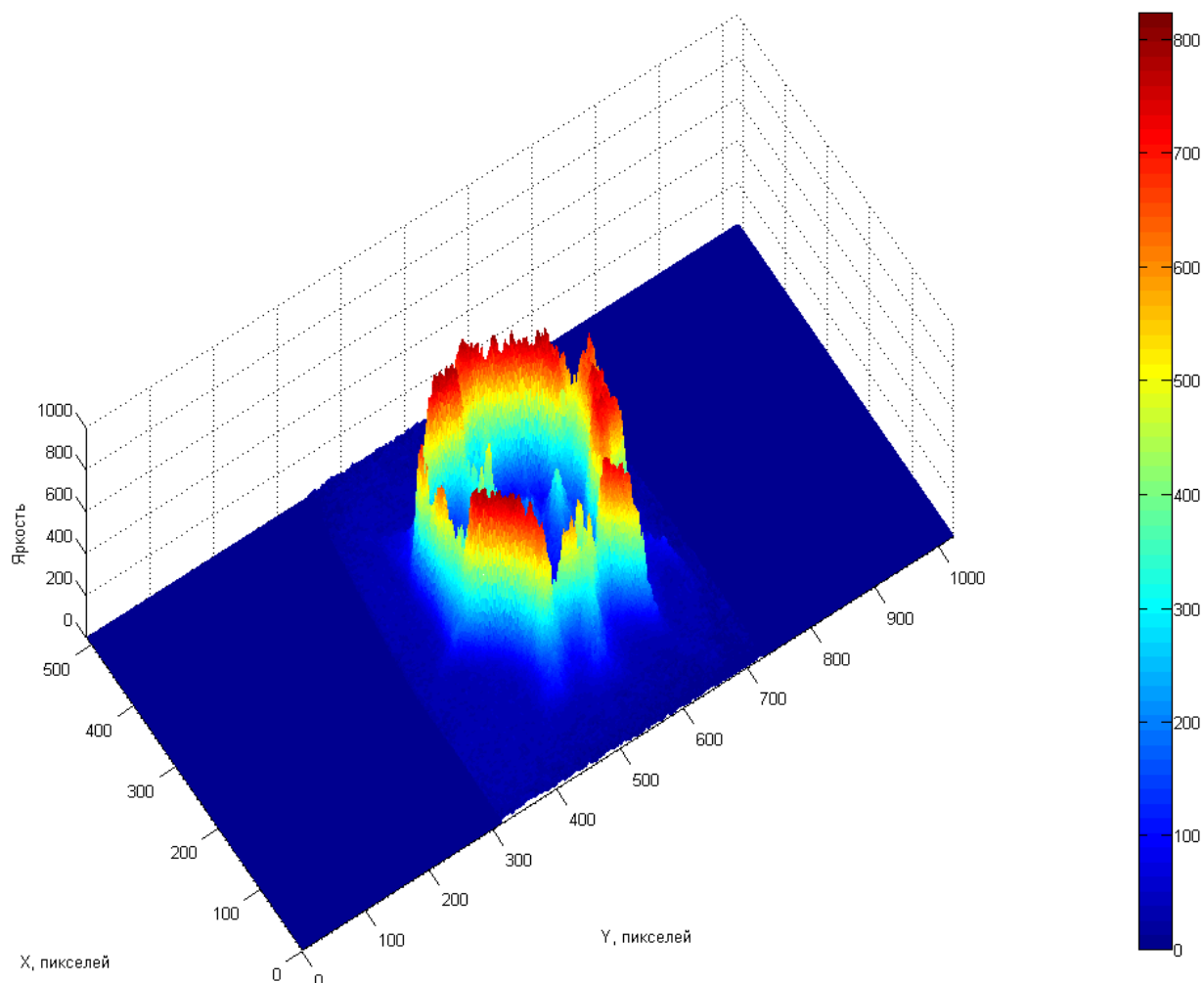


Рис. 2. Распределение яркости пятна в одном кадре входной последовательности

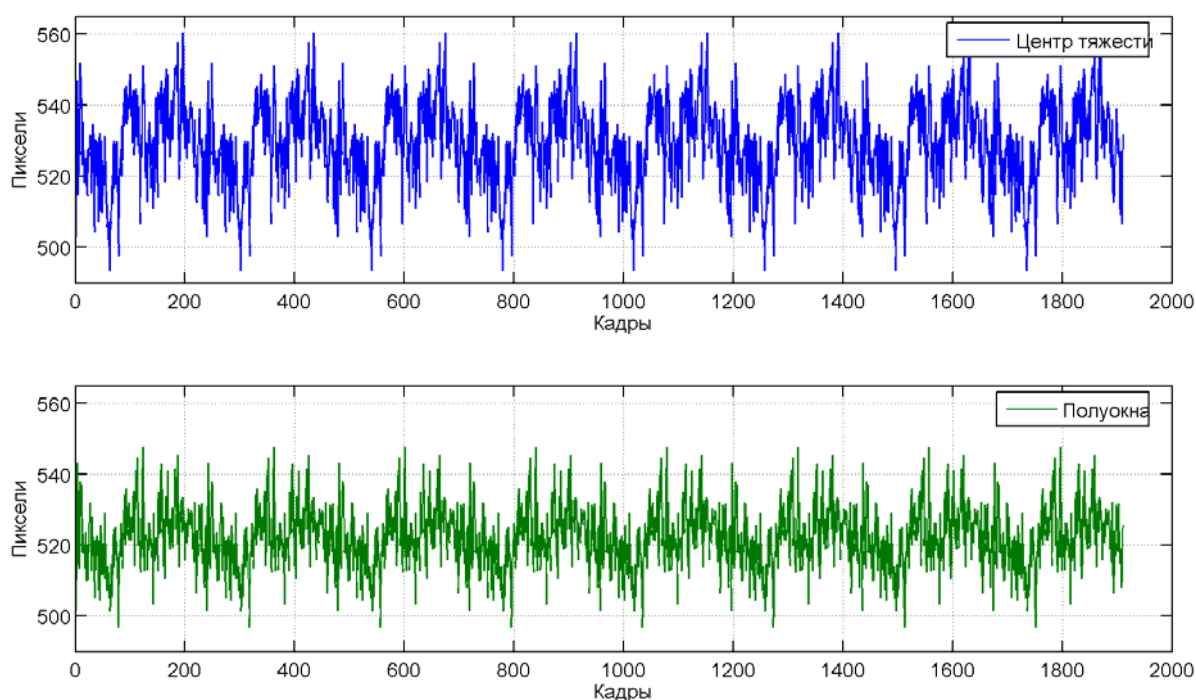


Рис. 3. Реакция моделей алгоритмов на входную последовательность

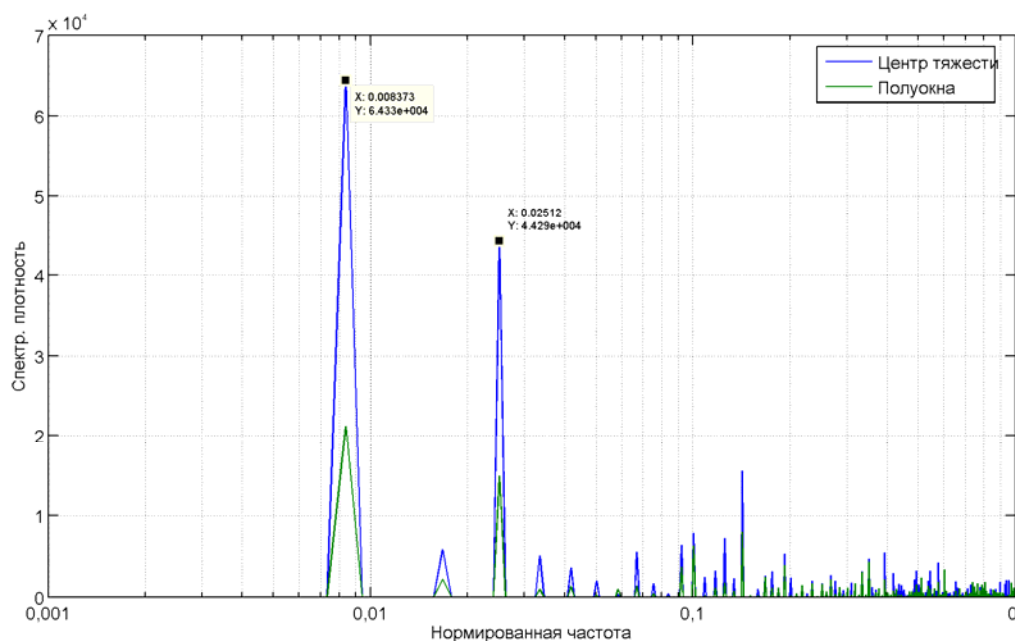


Рис. 4. Спектральная плотность мощности сигналов выходных реакций алгоритмов

Результаты моделирования реакции моделей обоих алгоритмов на входную последовательность представлены на рис. 3, где по вертикальной оси отображается вычисленное положение изображения пятна входного сигнала в пикселях, а по горизонтальной оси - приведенное время в кадрах (или отсчетах).

На рис. 3 представлена реакция моделей алгоритмов обработки на входную последовательность сигнала, которая заметно отличается

от таковой для идеализированного входного сигнала [2], представляющая собой постоянную величину на уровне 512 пикселей. Очевидно, что такой сигнал требует обработки для подавления его шумовых составляющих. В реальных условиях работы уровнемера частота колебаний уровня расплава крайне низкая и не превышает единиц Гц. На основе этого можно осуществить подавление шумовой составляющей с помощью частотной фильтрации. Для этого не-

обходимо рассчитать цифровой ФНЧ. Чтобы найти частоту среза ФНЧ необходимо произвести спектральный анализ выходной реакции моделей алгоритмов, приведенных на рис. 3. Спектральная плотность мощности для реакций (рис. 3) алгоритмов на входную последовательность представлена на рис. 4, где по горизонтальной оси отложена нормированная частота в пределах $[0;1]$, где единице соответствует половинная частота Найквиста, в рассматриваемом случае 12,5 Гц.

Из спектральной характеристики, представленной на рис.4., видно, что для обоих алгоритмов присутствует спектральная составляющая на частоте 0,008373, которая обусловлена многократным повторения одного и того же фрагмента длиной 239 кадров во входной последовательности. Кроме того, присутствует выраженная спектральная составляющая на частоте 0,02512, которая соответствует полезной составляющей, содержащейся в общем сигнале выходных реакций алгоритмов. Все последующие спектральные составляющие являются паразитными и подлежат фильтрации. То есть частота среза цифрового ФНЧ должна быть не менее 0,02512 нормированной частоты. Возьмем для частоты среза значение нормированной частоты в 0.03. В качестве ФНЧ использованы КИХ фильтры 1-го и 2-го типов, с линейной фазовой характеристикой. Для сравнительного анализа эффективности фильтрации при

моделировании использовались фильтры: два варианта фильтра на основе алгоритма Паркса-МакКлиллана (на основе алгоритма Ремеза), фильтр на основе окна Кайзера, фильтр на основе окна Блэкмана, фильтр, синтезированный с помощью алгоритма наименьших квадратов, а также, для сравнения, простое суммирование и усреднение [4]. Экспериментально порядок всех фильтров был взят равным 80. АЧХ синтезированных фильтров в логарифмическом масштабе отображены на рис. 5

Как показано на рис. 5 при синтезе для некоторых фильтров была задана переходная полоса в границах нормированных частот $[0.03;0.07]$, максимальный уровень неравномерности АЧХ в полосе пропускания ± 1 dB, а ослабление в полосе подавления -40 dB. Кроме, того так как синтезированные КИХ фильтры имеют порядок 80, то их групповая задержка равна половине порядка фильтра то есть 40 кадрам (отсчетам)[4].

Результаты воздействия синтезированных фильтров с АЧХ (рис. 5) на сигнал выходной реакции алгоритма «центра тяжести» показаны на рис. 6 (показана часть сигнала выходной реакции после фильтрации), единицы измерения аналогичны таковым для рис.3. А спектральная плотность мощности отфильтрованного сигнала показана на рис 7. Результаты фильтрации сигнала выходной реакции алгоритма «полуокон» полностью аналогичны результатам, показанным на рис. 6, 7.

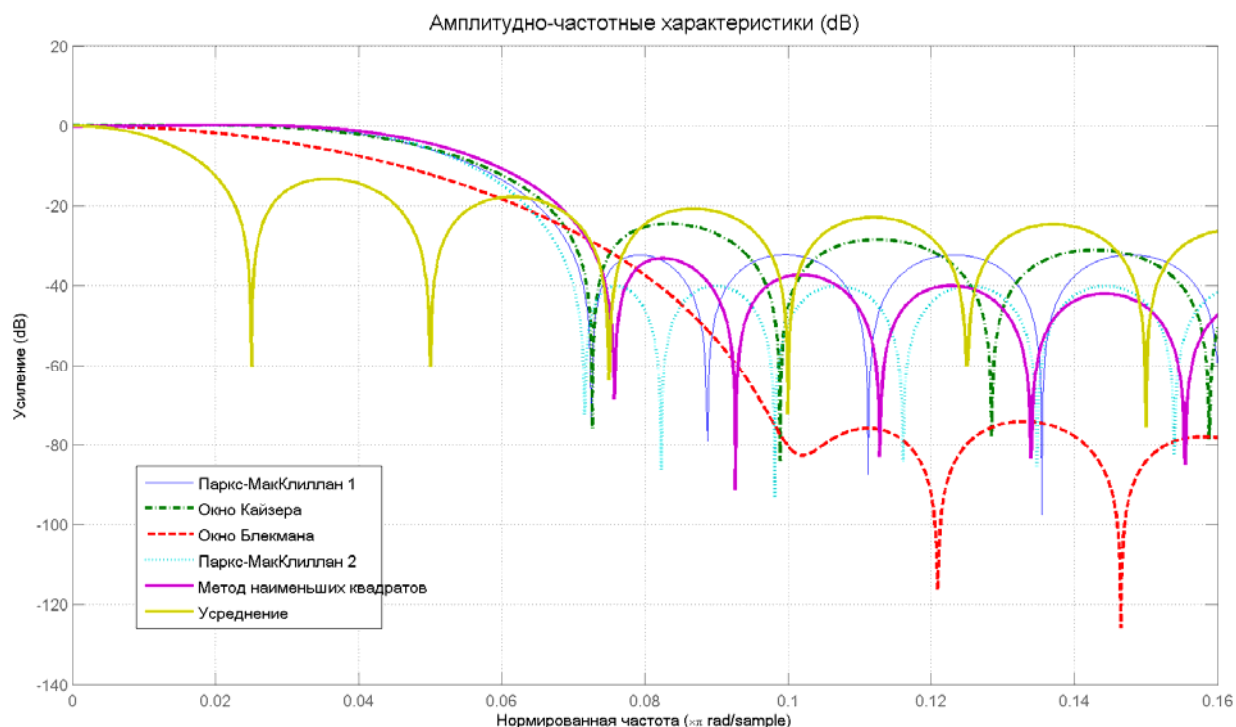


Рис. 5. АЧХ синтезированных КИХ фильтров

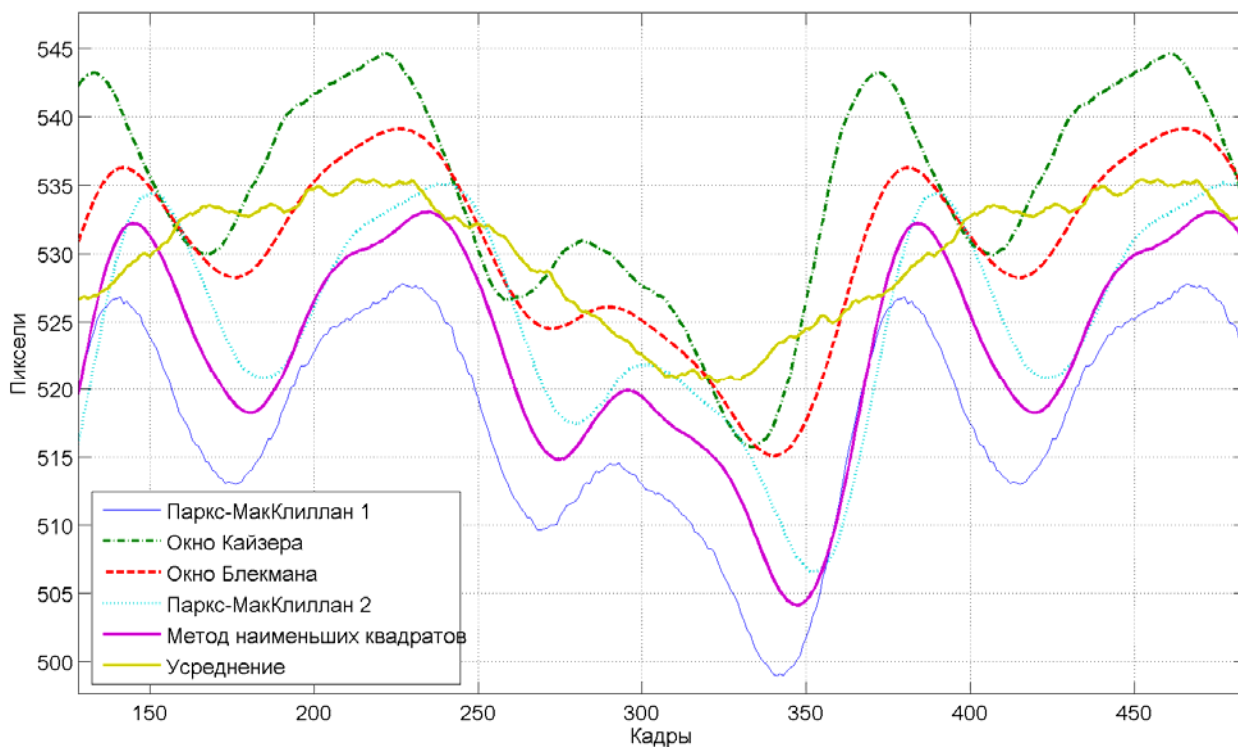


Рис. 6. Выходная реакция алгоритма «центра тяжести» после фильтрации

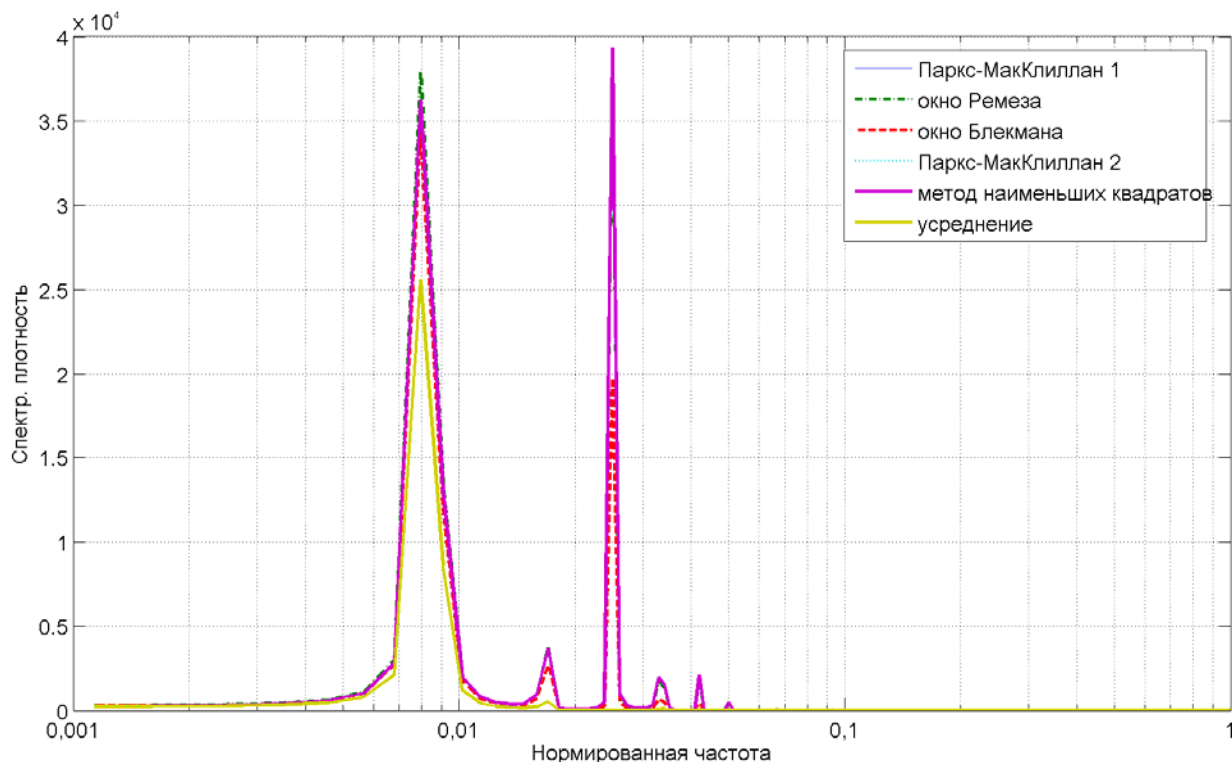


Рис. 7. Спектральная плотность мощности сигналов выходных реакций алгоритма «центра тяжести» после фильтрации

Полученные результаты (рис. 6, 7) показывают, что в целом все синтезированные фильтры, кроме простого усреднения, справились с задачей выделения полезного сигнала с нормированной частотой 0,02512, однако фильтры на основе метода Паркса-МакКлиллана и на основе метода наименьших квадратов обеспечили наилучшее пропускание полезных спектраль-

ных составляющих и подавление шумовых спектральных составляющих. Использование наиболее эффективных фильтров для фильтрации сигнала алгоритма обработки стохастического изображения позволяет достичь точности определения уровня расплава не хуже 0.1 мм, что требуется в условиях современного технологического процесса.

Выводы

Результатом проведенного исследования алгоритмов «центра тяжести» и «полуокон» методом математического моделирования стало подтверждение, что реакция обоих методов на последовательность кадров реального входного сигнала заметно отличается от таковой для идеализированного сигнала, но за счет разных частотных областей шумовой и полезной составляющей удалось с помощью цифровых ФНЧ подавить шумовой сигнал.

Однако так как полоса полезных частот очень узкая в сравнении с основными полосами частот фильтров, к тому же она расположена в начале основной полосы частот, и при синтезе фильтров приходится обеспечивать достаточно узкую переходную полосу (на уровне 0.04). То для обеспечения высокой равномерности АЧХ фильтров необходимо применять ФНЧ с порядками 80 и более, что вносит существенную групповую задержку в выходной сигнал, и усложняет вычисления. Выходом из этой ситуации видится уменьшение частоты дискретизации, то есть уменьшение основной полосы фильтров, в результате чего полоса частот полезного сигнала увеличится, например, при снижении частоты дискретизации в 10 раз, полоса частот полезного сигнала будет заканчиваться уже на 0.3 нормированной частоты. Что позволит применить ФНЧ с гораздо меньшим порядком при сохранении необходимых характеристик.

Уменьшение частоты дискретизации просто реализуется в СТЗ на основе КМОП-сенсора изображения, в котором предусмотрены программные возможности изменения параметров накопления изображения, а, следовательно, и кадровой частоты (частоты дискретизации). Это позволит уменьшить вычислительную сложность реализаций обоих алгоритмов обработки данных.

Литература

1. *Кутергин Д.П.*, Терлецкий А.В. Определение координат объекта наблюдения в системах технического зрения на основе КМОП-сенсоров изображения // *Электроника и связь*. – 2008. – т. 47, №6. – С. 32–37.
2. *Кутергин Д.П.*, Математическое моделирование методов обработки изображения в системах технического зрения // *Электроника и связь*. – 2009., №4-5. – С. 156–160.
3. *Терлецкий А.В.*, Кучеренко О.И., Подосельник А.С., Белый Н.Г. Цифровое устройство «Direcon D01» для регистрации, обработки и архивирования информации детекторов рентгеновского излучения. // 4-та національна науково-технічна конференція і виставка „Неруйнівний контроль та технічна діагностика”. Сб. трудов. – К., 2003. – С. 165–168.
4. *Солонина А.И.*, Улахович Д.А., Арбузов С.М., Соловьева Е.Б. Основы цифровой обработки сигналов / Изд. 2-е испр. и перераб.– СПб.: БХВ-Петербург. 2005. – 768 с.