

АДАПТИВНОЕ СГЛАЖИВАНИЕ ТРЕНДОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Гринюк Д. А., Сухорукова И. Г., Олиферович Н. М., Оробей И. О.

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь
E-mail: hryniukda@gmail.com

Рассматриваются вопросы адаптивной фильтрации при измерении сигналов. Динамика оценивается с помощью аппроксимации текущих значений линейной, параболической или другой зависимостью. Представлены результаты математического моделирования работы цифрового фильтра, бегущего среднего, а также сглаживания с помощью линейной и параболической зависимостей при различных частотах полезного сигнала, проведенного с помощью пакета MatLab. Эффективность фильтра оценивалась по среднеквадратическому отклонению от исходного синусоидального сигнала. Проведенные исследования показали, что применение локальной линейной или параболической аппроксимации позволяет существенно улучшить сглаживание. Их использование также позволяет одновременно следить за динамикой и строить адаптивные схемы, одновременно контролировать параметры шума, бороться с импульсными помехами. По результатам предложен алгоритм адаптации для измерительного преобразователя впитывания.

ВВЕДЕНИЕ

Существуют два подхода в идентификации первичной информации: параметрический и непараметрический. Параметрические методы основаны на знании с определенной точностью модели восстанавливаемой зависимости. Непараметрические методы идентификации не используют такую модель. Другими словами, для преобразователей с информативным сигналом синусоидальной формы не возникает сложностей с интерпретацией результатов параметрической и непараметрической фильтрации. Временной сдвиг в этом случае можно легко учесть. При сложных моделях динамики сигнала могут возникать погрешности.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Измерительные преобразователи скорости капиллярного впитывания [1] и величины протечки [2–3] характеризуются сложной динамикой. Бумага имеет стохастический характер расположения каналов движения жидкости, и динамика измерительного преобразователя впитывания трудно прогнозировать. Одним из эффективных методов непараметрической фильтрации может быть метод локальной аппроксимации (МЛА) [4]. Суть этого метода состоит в использовании скользящих локально-параметрических моделей. Для обеспечения максимального качества сглаживания требуется определить порядок локальности и выбрать локально-параметрическую модель. Наиболее часто на практике для сглаживания применяются фильтры бегущего среднего и низких частот. Практика их реализации хорошо отработана. Фильтры бегущего среднего используются как простейшие формулы

$$y_i = \frac{y_i + y_{i-1} + \dots + y_{i-N}}{N}, \quad (1)$$

где y_i — выход; x_i — текущее измерение; N — порядок (диапазон) усреднения, так формулы с весовыми коэффициентами. Методы локальной аппроксимации могут иметь различные варианты весовых функций. Однако это сопряжено с большими требованиями по мощности вычислений. Для применения в автономном режиме в реальном времени с невысокими требованиями по мощности, приемлемым вариантом является использование прямоугольных финитных функций. В качестве локальных моделей предлагается использовать линейную и квадратичную аппроксимации:

$$y(t) = c_1 + c_2 t; \quad (2)$$

$$y(t) = d_1 + d_2 t + d_3 t^2, \quad (3)$$

где c_i и d_i — коэффициенты, соответственно, линейной или квадратичной аппроксимации диапазона усреднения. Для формирования выходного значения y_i может быть использовано любое значение $t = t_S$ в диапазоне аппроксимации $[0, (N-1)\Delta t]$ (Δt — шаг квантования). В зависимости от величины N и особенности шумов t_S имеет свое оптимальное значение. Проведенные исследования показали, что

$$y_i = |y_i(t_S) - y_S| \quad (4)$$

имеет параболическую зависимость, минимум которой находится в первой половине диапазона аппроксимации, где y_S — истинное значение параметра. При использовании (2) и значении t_S равно половине диапазона аппроксимации, сглаживание будет соответствовать методу бегущего среднего (1). Зачастую после аналогового преобразователя в измерительных данных вместе с шумом первичного преобразователя возникают значения с большими отклонениями. Это является следствием либо внешних импульсных помех, либо наличия паразитивных

связей в измерительной схеме. Для борьбы с такими явлениями обычно используют медианный фильтр и т. д. Путем локальной аппроксимации можно также бороться с импульсными помехами типа шпоры.

II. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Моделирование проводилось с помощью математического пакета MatLab. Генерировались синусоидальный сигнал с разными значениями частоты [0,0001 0,001 0,01 0,05] Гц. Значение времени квантования составляло 1 с. Первичный сигнал смешивался с шумами различных типов. Сглаживание проводилось с помощью фильтра бегущего среднего, фильтра низких частот и аппроксимации (2) и (3). В качестве фильтра низких частот (ФНЧ) использовался фильтр Баттерворта 3-го порядка. Частота среза для каждого случая определялась отдельно путем минимизации среднеквадратического отклонения. Диапазон для бегущего среднего и аппроксимации выбирался из значений $N = [3, 5, 9, 11, 15, 21, 25]$. Некоторые из полученных результатов сглаживания различных типов фильтров можно видеть на рис. 1. На графиках представлены варианты работы фильтров с лучшими настройками. Так при минимальной частоте лучшие параметры по сглаживанию дает фильтр низких частот.

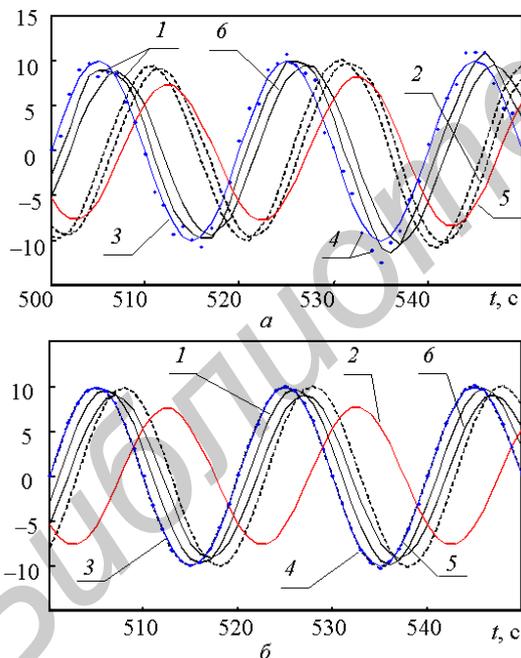


Рис. 1 – Сглаживание на частоте 0,05 Гц при высоком уровне (а) и низком уровне (б) шума для различных фильтров: 1 – линейная аппроксимация ($N = 3, 5$); 2 – ФНЧ; 3 – первичный сигнал; 4 – исходные данные; 5 – параболическая аппроксимация ($N = 9, 11$); 6 – скользящее среднее ($N = 5$)

Но при заметной динамике среднеквадратическое отклонение для параболической аппрок-

симации становится сравнимым с результатом фильтра низкой частоты. При дальнейшем увеличении частоты, параболическая аппроксимация дает лучшее сглаживание. При компенсации временной задержки отличия от других вариантов становятся значительными. С ростом частоты уменьшается оптимальное окно аппроксимации. Результат линейной аппроксимации дает лучшие результаты на высоких частотах исследованного диапазона и высоком уровне шумов в измерительном канале. Дисперсия отклонения от синусоидальной формы для параболической и линейной аппроксимаций имеет меньшее значение, начиная с частоты 0,001 Гц. Автономная работа адаптации предполагает проведение постоянных расчетов по линейной или параболической аппроксимации. Результаты моделирования показали, что окно аппроксимации N не стоит увеличивать более чем на 20. Слежение за коэффициентами d_2 и c_2 позволяет определять текущую динамику и в зависимости от этого осуществлять выбор вида и параметров сглаживания. Слежение за дисперсией позволяет характеризовать текущие параметры шумов в измерительном канале. Это позволит осуществлять выбор между линейной и квадратичной аппроксимацией и их параметрами. Кроме метода наименьших квадратов могут быть применены другие функции метода МЛА.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование локальной линейной или параболической аппроксимаций позволяет существенно улучшить сглаживание. При этом временная задержка контролируется и может быть исключена при любой форме сигнала. Инструмент линейной или параболической аппроксимаций позволяет одновременно следить за динамикой и строить адаптивные схемы, позволяет одновременно контролировать параметры шума, бороться с импульсными помехами.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богослав, Н. М. Экспериментальное исследование динамики круговой пропитки / Н. М. Богослав, Д. А. Гринюк, И. О. Оробей // Труды БГТУ. – 2013. – №6, Физ.-мат. науки и информатика. – С. 99–103.
2. Сухорукова, И. Г. Повышение чувствительности измерителя протечек запорной арматуры / И. Г. Сухорукова, Д. А. Гринюк, И. О. Оробей // Труды БГТУ. – 2015. – №6, Физ.-мат. науки и информатика. – С. 132–136.
3. Oliferovich, N. Measuring the speed of capillary soaking with adaptation regarding coordinates / N. Oliferovich, D. Hryniuk, I. Orobei // 2015 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream 2015), Vilnius, Lithuania, 21 April 2015 pp. 1–4.
4. Катковник, В. Я. Непараметрическая идентификация и сглаживание данных: метод локальной аппроксимации / В. Я. Катковник // Издательство: Наука, – 1985. – 336 с.