

3. Katalinic B. Industrieroboter und flexible Fertigungssysteme fur Drehteile. 1990, VDI-Verl. Dusseldorf. 246 p.

Научный руководитель: Т.Н. Круглова к.т.н., доцент ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова.

АДАПТИВНОЕ СГЛАЖИВАНИЕ ТРЕНДОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Н.М. Олиферович, М.А. Кашкан, И.Г. Сухорукова, Д.А. Гринюк
Белорусский государственный технологический университет

Существуют два подхода к идентификации первичной информации: параметрический и непараметрический. Параметрические методы основаны на знании модели восстанавливаемой зависимости с определенной точностью. 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.

Измерительные преобразователи скорости капиллярного впитывания [1] и величины протечки [2] характеризуются сложной динамикой. При использовании конструкции измерительного бумажного конденсатора [3] с чередованием металлизированных и неметаллизированных колец динамика может оказаться еще более сложной. Также бумага имеет стохастический характер расположения каналов движения жидкости, и динамику 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

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

так и как формулы с весовыми коэффициентами

$$y_i = \frac{a_i x_i + a_{i-1} x_{i-1} + \dots + a_{i-N+1} x_{i-N+1} + x_{i-N}}{N} \quad (2)$$

при условии

$$a_1 + a_2 + \dots + a_{N-1} + a_N = N$$

где y_i – выход; x_i – текущее измерение; N – порядок (диапазон) усреднения.

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 высокими требованиями по мощности, приемлемым вариантом является использование прямоугольных финитных функций. В качестве локальных моделей предлагается использовать линейную и квадратичную аппроксимации:

$$y(t)=c_1+c_2t; \quad (3)$$

$$y(t)=d_1+d_2t+d_3t^2 \quad (4)$$

где результат решения системы уравнений

$$\begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_2 & w_1 \\ w_3 & w_2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}; \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_3 & w_2 & w_1 \\ w_4 & w_3 & w_2 \\ w_5 & w_4 & w_3 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix}; \quad (6)$$

$$w_j=(t_1)^{j-1}+(t_2)^{j-1}+\dots+t_N)^{j-1} \quad (7)$$

$$b_j=(t_1x_1)^{j-1}+\dots+t_Nx_N)^{j-1} \quad (8)$$

$$t_k=[0 \Delta t+2\Delta t\dots(N-2)\Delta t (N-1)\Delta t] \quad (9)$$

Δt – время квантования.

Для формирования выходного значения y_i может быть использовано любое значение $t = t_s$ в диапазоне аппроксимации $[0 (N-1)\Delta t]$. В зависимости от величины N и особенности шумов, t_s имеет свое оптимальное значение. Проведенные исследования показали, что

$$|y_i(t_s) - y_s| \quad (10)$$

имеет параболическую зависимость, минимум которой находится в первой половине диапазона аппроксимации, где y_s – истинное значение параметра. При использовании (3) и значении t_s равном половине диапазона аппроксимации, сглаживание будет соответствовать методу бегущего среднего (2).

Зачастую после аналогово-цифрового 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. Сравнивая величины отклонения $x_i \dots x_{i-N+1}$ от результатов аппроксимации с некоторыми значениями, можно существенно уменьшить влияние данного типа помех на сглаживание. Обнаруженные плохие значения можно фиксировать и не использовать в последующих аппроксимациях.

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. Пер-

вичный сигнал смешивался с шумами различных типов. Сглаживание проводилось с помощью фильтра бегущего среднего, фильтра низких частот, и аппроксимации (3) и (4). В качестве фильтра низких частот (ФНЧ) использовался фильтр Баттерворта 3-го порядка. Частота среза для каждого случая определялась отдельно путем минимизации среднеквадратического отклонения

$$|y_i - y_s| \rightarrow \min. \quad (12)$$

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.

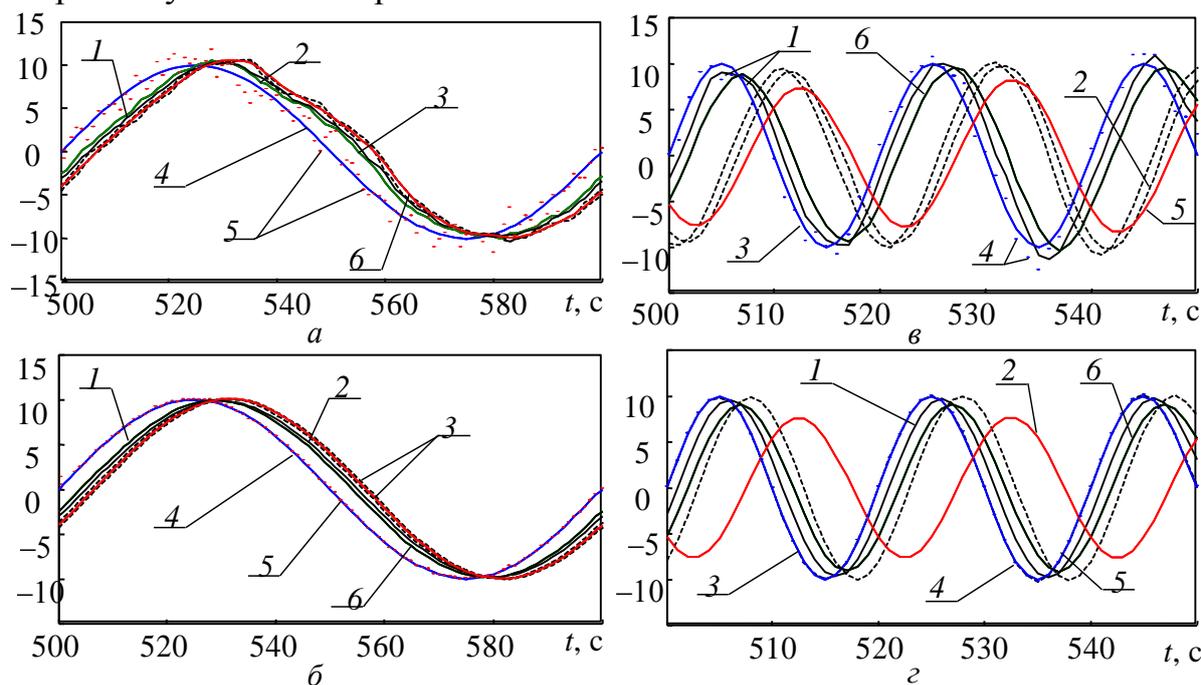


Рис. 1. Сглаживание на частоте 0,01 Гц (а, б,) и 0,05 Гц (в, г) при высоком уровне (а, в) и низком (б, г) уровне шума для различных фильтров: 1 – линейная аппроксимация; 2 – бегущего среднего; 3 – параболическая аппроксимация; 4 – первичный сигнал; 5 - исходные данные; 6 – ФНЧ

Так при минимальной частоте лучшие параметры по сглаживанию дает фильтр низких частот. Но при заметной динамике среднеквадратическое отклонение для параболической аппроксимации 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 моделиро-

вания 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. По причине флуктуации параметров d_2 и c_2 переход на новый вид или параметры фильтра лучше осуществлять с использованием триггерных алгоритмов.

Вычисление величины дисперсии отклонения значений от аппроксимированных кривых не является сложной задачей. Слежение за ней 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. Использование экспоненциальных и логарифмических зависимостей потребует еще большей вычислительной мощности. Для уменьшения вычислительной мощности может быть использована квадратичная или линейная аппроксимация по методу средних.

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

ЛИТЕРАТУРА:

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. – М.: Наука, 1985. – 336 с.