

## СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА СИГНАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МІКРОКОНТРОЛЛЕРА

*Нагорний М. М.; Шпилька О. О., к.т.н.*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

Для відслідковування тенденцій фізичних процесів, які досліджуються і можуть бути виміряні за допомогою давача, часто використовують статистичну обробку результатів вимірювань. Обробляючи сигнал з АЦП простим процесором нам в загальному випадку потрібно вирішити три завдання:

1. згладжування сигналу
2. збільшення розрядності АЦП
3. досягнення 1 і 2 пункту з мінімальними витратами ресурсів мікроконтролера.

Найпростішим, що не вимагає пам'яті фільтром є фільтр модифікованого змінного середнього. Математично він задається так:

$$F_{i+1} = \frac{N \cdot F_i + X_i}{N + 1} \quad (1)$$

де  $F_i$  — поточне значення фільтра;  $F_{i+1}$  — нове, розраховане значення фільтра;  $X_i$  — поточне значення параметра, що вимірюється;  $N$  — коефіцієнт інерції фільтра, він же постійна числа ітерацій цього фільтра. Постійна числа ітерацій пов'язана з постійною часу фільтра  $\tau$  через частоту  $f$  опитування датчика.

Однак, формула (1) являється складною для 8-ми розрядного мікроконтролера, бо для розрахунку необхідно використовувати досить складну операцію ділення. Необхідно відмітити те, що операція ділення і множення можна замінити на операції зсуву, якщо необхідно поділити (або відповідно помножити) на коефіцієнт. Який являється степенем двійки. Однак в формулі (1), навіть якщо встановити  $N$  як степінь двійки, то все одно доведеться ділити на  $N + 1$ . Але вираз (1), можна спростити, якщо використати наступну формулу наближення

$$\frac{X}{N + 1} \approx \frac{X - \frac{X}{N}}{N} \quad (2)$$

Як видно, в даному випадку замість ділення на  $N + 1$  маємо два ділення на степінь двійки, які можна замінити зсувами. Таким чином, можна модифікувати формулу (1), для реалізації розрахунків на мікроконтролері:

$$\begin{aligned} F_{i+1} &= \frac{N \cdot F_i + X_i}{N + 1} = \frac{N \cdot F_i}{N + 1} + \frac{X_i}{N + 1} \approx \frac{N \cdot F_i - \frac{N \cdot F_i}{N}}{N} + \frac{X_i - \frac{X_i}{N}}{N} = \\ &= F_i - \frac{F_i}{N} + \frac{X_i}{N} - \frac{X_i}{N^2} \end{aligned} \quad (3)$$

При цьому вважаємо, що величина  $\frac{X_i}{N^2}$  досить маленька, і тому нею можна знехтувати, перед зсувом виконати додавання:

$$F_{i+1} = F_i - \frac{F_i - X_i}{N} \quad (4)$$

Необхідно відміти те, що в формулах (3) і (4), вхідне значення  $X_i$  впливає на вихід фільтру, після ділення на  $N$ , що призводить до втрати точності фільтрації. Для підвищення точності, помножимо ліву і праву частину виразу (3) на  $N$ , та введемо додаткову змінну  $P_i = N \cdot F_i$ , тоді:

$$N \cdot F_{i+1} = N \cdot F_i - F_i + X_i,$$

а (3) можна записати в наступному вигляді:

$$P_{i+1} = P_i - \frac{P_i}{N} + X_i \quad (5)$$

Значення відфільтрованої величини можна отримати діленням на  $N$ , яке виконується за допомогою зсуву:

$$X_i = \frac{P_i}{N} \quad (6)$$

Таким чином, якщо вимоги до швидкості обробки даних високі, а ось точність не важлива, то використовується формула (4), якщо ж необхідно підвищити точність, то необхідно використовувати формули (5) і (6).

Для псевдо підвищення розрядності АЦП можна отримати, взявши середнє арифметичне від значень АЦП за досить довгий проміжок часу (при незмінному рівні сигналу). Якщо потрібно підвищити розрядність АЦП на  $Q$  розрядів, то це означає що нам треба підвищити точність в  $M = 2^Q$ , і для цього необхідно використати усереднення  $M$  вибірок АЦП, причому для того, щоб залишити ту ж частоту дискретизації, середнє значення необхідно оновлювати після кожної вхідної вибірки. Таке усереднення отримало назву **ковзне середнє** і чисельно дорівнює середньому арифметичному значень вхідної функції за встановлений період і обчислюється за формулою:

$$SMA_{i+1} = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} X_{i-k}$$

Отримане значення простий ковзної середньої відноситься до середини обраного інтервалу, однак, традиційно його відносять до останньої точки інтервалу.

З попереднього свого значення просте ковзне середнє може бути отримано за такою рекуррентною формулою:

$$SMA_{i+1} = SMA_i - \frac{X_{i-n+1}}{n} + \frac{X_i}{n}$$

Деколи, при використанні ковзного середнього, деякі значення вхідної функції доцільно зробити більш впливовим. Наприклад більш старші вибі-

рки, повинні вносити менший вклад в загальний результат, а новіші - більший. Для цього використовують функції зваженого ковзного середнього.

До фільтрація за допомогою виразу (1), також може бути використана ідея псевдо підвищення розрядності АЦП. виконує розрахунок середнього, Формули (5),(6) з модифікацією для підвищення точності набувають вигляду:

$$P_{i+1} = P_i - \frac{P_i}{N \cdot M} + M \cdot X_i \quad (7)$$

$$X_i = \frac{P_i}{N \cdot M} \quad (8)$$

Слід відмітити те, що у формулах (7) і (8)  $M$  являється степінню двійки, тому ділення і множення відбувається за допомогою зсувів. Якщо ж кількість розрядів, на яку потрібно підвищити точність не ціла, то  $M$  вже буде не являтися степінню двійки, і ділення на нього доведеться робити за допомогою математики з плаваючою точкою.

Таким чином, запропоновані підходи дозволяють провести фільтрацію з мінімальними апаратними затратами і підвищити точність вимірювання.

#### **Перелік посилань**

1. Грешилов А. А., Стакун В. А., Стакун А. А. Математические методы построения прогнозов. — М.: Радио и связь, 1997.- 112 с. — ISBN 5-256-01352-1..
2. Булашев С. В. Статистика для трейдеров -М.: Компания Спутник+, 2003. — 245с.

#### **Анотація**

Представлений метод статистичної обробки повільно змінюючих сигналів з використанням фільтру модифікованого змінного середнього. Проведено адаптацію розрахунків для більш ефективного використання в мікроконтролері.

**Ключові слова:** статистична обробка, сигнали, що повільно змінюються, мікроконтроллер.

#### **Аннотация**

Представленный метод статистической обработки медленно изменяющихся сигналов с использованием фильтра модифицированного скользящего среднего. Проведено адаптацию расчетов для более эффективного использования в микроконтроллере.

**Ключевые слова:** статистическая обработка, медленно изменяющиеся сигналы, микроконтроллер.

#### **Abstract**

The method of statistical processing of slowly changing signals with the use of the filter of the modified variable mean is presented. The calculations were adapted for more effective use in the microcontroller.

**Keywords:** statistical processing, slowly changing signals, microcontroller/