

Применение вероятностного алгоритма фильтрации в задачах обработки данных телеметрии космических спутников

Серостанов А. С., Ветров Д. П., Кропотов Д. А.

serostanov@gmail.com, vetrovd@yandex.ru, dkropotov@yandex.ru

Москва, ВМиК МГУ, ВЦ РАН

Одной из наиболее важных задач, возникающих при цифровой обработке сигналов, является задача их фильтрации — выявления и устранения помех с минимальными изменениями полезной части. Существует множество подходов к решению данной задачи.

Самый простой предполагает использование низкочастотных фильтров, которые просты в реализации и показывают отличные результаты в скорости работы. Однако алгоритмы подобного оказывают влияние не только на помехи, но искажают и полезную часть сигнала. Это обусловлено тем, что низкочастотные фильтры основаны на том или ином сглаживании сигнала, а также используют априорные предположения о модели шума.

В силу вышесказанного, алгоритмы низкочастотной фильтрации нельзя использовать в задачах, в которых невозможны априорные соображения о виде шумов (например, они возникают в результате сбоев в измерении и передаче информации). Следовательно, необходимо использовать фильтры, которые не зависят от модели шума. Примером такого алгоритма может служить метод, основанный на вероятностной фильтрации.

Особенностью этого подхода является то, что зашумленные точки не обрабатываются, а исключаются из рассмотрения, а полученные таким образом пропуски заполняются путем линейной интерполяции.

Постановка задачи

Телеметрия представляет собой сбор данных о шести показателях по времени. В процессе измерений и передачи информации могут происходить сбои, в результате чего данные искажаются, и появляются шумы. Требуется построить фильтр, устраняющий эти выбросы с сохранением полезной формы сигнала.

Алгоритм максимизации правдоподобия

Рассмотрим следующую задачу. Пусть имеется зашумленный сигнал $x[i]$, представленный моментами времени t_1, \dots, t_T . Необходимо построить фильтр, формирующий на выходе сигнал $y[i]$ таким образом, чтобы фильтрованный сигнал не содержал в себе существенных неоднородностей, связанных с ошибками в измерении данных. В случае отсут-

ствия подобных неоднородностей сигнал не должен подвергаться изменениям, т. е. $y[i] = x[i]$.

Рассмотрим последовательную процедуру фильтрации сигнала. Предположим, что имеется некоторая точка $x[i_0]$, про которую известно, что она является первой точкой полезного сигнала, т. е. $y[i] \neq x[i]$ при $1 \leq i < i_0$; $y[i_0] = x[i_0]$. Далее, определим меру правдоподобия принадлежности точки полезному сигналу при условии, что точка $x[i_0]$ является незашумленной, следующим образом :

$$l(i, i_0) = -\frac{(x[i] - x[i_0] - M_{i, i_0})^2}{2\Sigma_{i, i_0}^2} - \ln(\sqrt{2\pi}\Sigma_{i, i_0}), \quad (1)$$

где M_{i, i_0} и Σ_{i, i_0} выражаются формулами через так называемые центроидное и вариационное поля соответственно :

$$M_{i, i_0} = \sum_{k=i_0}^i \mu[k], \quad \Sigma_{i, i_0} = \sqrt{\sum_{k=i_0}^i \sigma^2[k]}.$$

При фиксировании очередной полезной точки сигнала следующая точка находится путем максимизации функции правдоподобия (1). Совокупность построенных таким образом точек назовем *допустимыми*. Остальные точки $x[i]$ рассматриваются как помехи и игнорируются. Таким образом, полезный сигнал $y[i]$ представляет собой последовательность допустимых точек, в промежутках между которыми сигнал дорабатывается путем интерполяции.

Для реализации указанного алгоритма фильтрации необходимо оценить центроидное и вариационное поля. Центроидное поле $\mu[i]$ можно рассматривать как ожидание относительно тенденции изменения значения полезного сигнала на том или ином участке, а вариационное поле, в свою очередь, характеризует предположения о локальной мере изменчивости полезного сигнала в точке. Для определения значений $\mu[i]$ и $\sigma[i]$ можно воспользоваться априорными соображениями о приблизительной форме сигнала или использовать предварительную обработку низкочастотными фильтрами, например, скользящим средним. Пусть $z[i]$ — сигнал, полученный путем сглаживания исходного. Тогда центроидное и вариационное поля можно определить по формулам:

$$\begin{aligned} \mu[i] &= z[i+1] - z[i], \quad i = 1, \dots, T-1; \\ \mu[T] &= 0; \\ \sigma[i] &= \lambda + \delta|\mu[i]|, \quad i = 1, \dots, T. \end{aligned}$$

Здесь λ и δ — действительные параметры, которые подбираются с учетом конкретного вида сигнала и уровня шумов.

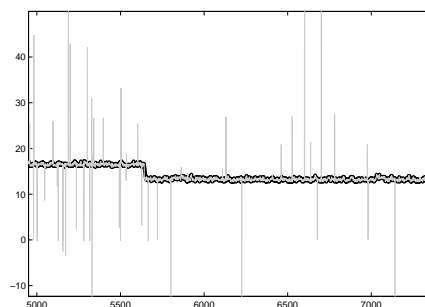


Рис. 1. Пример фильтрации с помощью разработанного алгоритма

Эвристические модификации алгоритма

Постановка задачи обработки данных телеметрии предполагает введение определённых ограничений. Так, уровень зашумленности сигнала позволяет предположить, что не имеет смысла для каждой точки просматривать весь сигнал до конца, так как следующая точка полезного сигнала будет находиться рядом с исследуемой. Значения λ и δ подбираются исходя из априорных соображений о структуре анализируемого сигнала.

Заключение

Метод вероятностной фильтрации, основанный на максимизации правдоподобия, является мощным инструментом для решения задач цифровой обработки сигналов. Относительно несложный в реализации, он способен показывать хорошие результаты при правильном подборе параметров. Исследования показали, что алгоритм хорошо решает задачи с единичными выбросами, даже если сам сигнал достаточно сложен.

Литература

- [1] *Vetrov D.P., Kropotov D.A.* Application of Probabilistic Filter to Signal Filtartion Tasks // Pattern Recognition and Image Analysis. — 2006. — Vol. 16, № 3. — P. 478–485.