

Обработка и распознавание сигналов. Современное состояние проблемы

В.В. Мисюра, В.И. Мисюра

Как правило, под сигналом понимают информационную функцию, которая несет сообщение о физических свойствах, состоянии или поведении каких-либо объекта, среды, физической системы.

Целью обработки сигналов является извлечение определенной информации и преобразование ее в форму, удобную для восприятия и дальнейшего использования.

Предсказать точно изменения значения информативного параметра невозможно, поскольку источник сигнала выдает информацию с некоторой вероятностью. Таким образом, аналитической моделью сигнала может быть только случайный процесс, который имеет детерминированные или меняющиеся во времени вероятностные характеристики. Но как такового «чистого» сигнала не существует, искажение сигнала происходит за счет присутствия помех и шумов. Шумы, как собственно и сигналы, имеют случайный (стохастический) характер. Принятый сигнал является смесью переданного сигнала и помехи, что является основанием применения аппарата теории вероятностей.

Задачи обработки и фильтрации случайных сигналов, как отображения случайных явлений, развивающихся во времени решает теория случайных процессов.

Теория случайных процессов – это наука, изучающая закономерности случайных явлений в динамике их развития. Понятие случайного процесса появилось в начале прошлого века и было связано с трудами А.Н.Колмогорова (1903-1987), А.Я.Хинчина (1894-1959), Е.Е.Слущкого (1880-1948), Н.Винера (1894-1965), Дж. Дуба (1910-2004), П.Леви (1886-1971), В.Феллера (1906-1970) и многих других ученых. В наши дни понятие случайного процесса является одним из центральных не только в теории

вероятностей, но и в теории связи, естествознании, инженерном деле, экономике, производстве.

Одной из основных задач первичной обработки сигналов является выделение полезных составляющих из общей суммы зарегистрированных зашумленных сигналов, а так же максимальное подавление помех и шумов в информационном сигнале при сохранении его полезных составляющих является.

За последнее десятилетие накоплен значительный опыт решения задач обработки и фильтрации сигналов, основные научные результаты хорошо представленные в научной литературе и получили свое подтверждение на практике.

Под сигналом обычно понимается случайный процесс X_t , который задается уравнение диффузии

$$dX_t = \alpha_t dt + \beta_t dW_t, t \in [0, T], X_0 = 0, \quad (1)$$

с детерминированными или со случайными предсказуемыми коэффициентами, удовлетворяющими условию Липшица по переменной t почти всюду. В уравнении W_t - стандартное броуновское движение [1].

При рассмотрении задачи фильтрации предполагается существование пары случайных векторов (Y, X) , которые стохастически связанных между собой. Вектор X – наблюдаемый вектор, вектор Y – вектор, подлежащий вычислению. Вектор X при наличии шума представим в виде $X = Y + N$, где N – шум.

Задача фильтрации сигнала состоит в том, чтобы отделить шум от сигнала, т.е. найти наилучшую оценку Y , основанную на наблюдениях X . Для решения задач обработки и фильтрации сигнала, разработаны методы, хорошо представленные в научной литературе и получившие свое подтверждение на практике (см. [2], [3], [4], [5], [6], [7]).

При постановке задачи фильтрации должен быть определен критерий «наилучшей» оценки. Понятно, что критерий оптимальности зависит от

практического характера рассматриваемой задачи. Но с точки зрения математической теории преимущественно развиты методы решения поставленной задачи, основанные на минимизации среднеквадратической ошибки.

$$\delta = M(Y - f(X))^2 \quad (2)$$

Задача состоит в определении функции f такой, что (2) принимает минимальное значение. Как показано в [5] более простой постановкой задачи, приводящей в ряде случаев к аналитически доступным и законченным решениям, является задача отыскания оптимального приближения в классе линейных функций. Наилучшим линейным приближением к случайному вектору Y является тот вектор, который находится на кратчайшем расстоянии от него.

Следует отметить работы [8], [9], которые содержат основы теории оптимальной фильтрации случайных процессов.

В теории обработки сигналов очень эффективным оказался метод математического описания случайных сигналов описанных уравнением (1). Например, фильтр Калмана-Бьюси (фильтр был разработан в 1960 г. – Калманом, а в 1961 г. – Калманом и Бьюси) позволяет оценивать состояние системы, удовлетворяющей «зашумленному» линейному стохастическому дифференциальному уравнению, на основе использованного ряда зашумленных наблюдений.

Заметим, что проблема линейной последовательной фильтрации по критерию минимума дисперсии ошибки к системам с одним входом и одним выходом была решена Винером.

Классический фильтр Винера получается в предположении, что коэффициенты уравнения (1) константы, классический фильтр Калмана получается в предположении, что коэффициенты детерминированы [8]. В связи с диффузионными процессами обобщение фильтра Калмана на

наиболее общий случай сделано в работе [9], в которой он обобщил теорию фильтрации Винера.

Общая теория нелинейной фильтрации описана в работе [10], которая как частный случай включает в себя и теорию линейной фильтрации.

Многие задачи обработки сигналов при действии разнообразных помех и шумов были решены благодаря аппарату нелинейной фильтрации и получили свое развитие в дальнейших исследованиях.

Статистических характеристиках полезного сигнала и помехи различаются, что широко используется в любой системе обработки сигналов. Если априорная информация об этих характеристиках является неполной или если значения характеристик изменяются с течением времени, широко применяют разнообразные адаптивные методы фильтрации. [11]. С целью увеличения точности оценивания параметров сигнала на основе текущих наблюдений производится их подстройка. При использовании адаптивных методов фильтрации погрешность оценок параметров сигнала зависит от соотношения между скоростью настройки фильтра и скоростью изменения характеристик сигнала.

На практике различные измерительные системы работают в условиях скачкообразного изменения характеристик сигнала, которые возникают в случайные моменты времени. Уравнение $dX_t = \alpha_t dt + \beta_t dW_t + \gamma_t dCP_t$, где CP независимый от W составной процесс Пуассона используют для описания процесса со скачками. Процессам со скачками (процессам Леви, аддитивным процессам и др.) уделяется в современных исследованиях значительное внимание. Ряд результатов по фильтрации случайных процессов со скачками представлен в работах [12], [13], [14], [15]. Задачи оценивания параметров процессов с пуассоновской статистикой потока переключений со случайной скачкообразно изменяющейся структурой рассматривались в работах [15].

Теория случайных процессов, а вместе с ней и методы и алгоритмы обработки и фильтрации сигналов, продолжает бурно развиваться, в ней появляются новые направления исследований.

Литература:

1. Oksendal B., Sulem A. Applied stochastic control of jump diffusion. [text] / B. Oksendal, A. Sulem – New York: Springer Verlag, 2004 – p.208
2. Вайнштейн Л.А., Зубаков В.Д. Выделение сигналов на фоне случайных помех [Текст] / Л.А.Вайнштейн, В.Д.Зубаков – М.: Советское радио, 1960 – 447 с.
3. Мисюра И.В. Один метод фильтрации случайного сигнала [Текст] // Обозрение прикл. и промышл. матем., 2010 – т. 17, в.6 – С. 911-912.
4. Белицер Э., Еникеева Ф.Н. Адаптивная фильтрация случайного сигнала в гауссовском белом шуме [Текст] // Пробл. передачи информ., 2008 – т.44, в.4, – С. 39-51.
5. Чернов А.В., Пугачёва О.Ю., Абидова Е.А. Математическое моделирование диагностического сигнала при оценке состояния электроприводной арматуры по сигналу тока двигателя [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2011, №3. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2011/502> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
6. Тарасова И.А., Леонова А.В., Синютин С.А. Алгоритмы фильтрации сигналов биоэлектрической природы [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1481> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
7. Берестень М.П., Зенов А.Ю. Концепция организации обработки информации в системах диагностики и распознавания [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, №1. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1568> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
8. Липцер Р.Ш., Ширяев А.Н. Статистика случайных процессов [Текст] / Р.Ш. Липцер, А.Н. Ширяев – М.:Наука,1974. – 696 с.

9. Липцер Р. Ш., Ширяев А. Н. Нелинейная фильтрация диффузионных марковских процессов. [Текст] // Труды МИАН им. В.А. Стеклова АН СССР.. 1968. – Том 104. – С. 135-180..
10. Липцер Р.Ш., Ширяев А.Н. Статистика случайных процессов (нелинейная фильтрация и смежные вопросы) [Текст] / Р.Ш. Липцер, А.Н. Ширяев – М.: Наука, 1974. – 696 с.
11. Фомин В.Н. Рекуррентное оценивание и адаптивная фильтрация. [Текст] / В.Н.Фомин – М.: Наука, 1984 – 288 с.
12. Applebaum D. Lévy Processes and Stochastic Calculus. [text] / D. Applebaum – Cambridge: Cambridge University Press, 2004 – p.384
13. Bertoin J. Levy processes. [text] / J. Bertoin – Cambridge: Cambridge University Press, 1996 – p.266
14. Лужецкая П.А., Белявский Г.И. Настройка параметров процессов Леви с использованием быстрого преобразования Фурье [Текст] // Обзорение прикладной и промышленной математики, 2011. – Т.18., в.5. – С. 744-745.
15. Параев Ю.И. Введение в статистическую динамику процессов управления и фильтрации [Текст] / Ю.И. Параев – М.: Сов. радио, 1976. – 184 с.