

С. Н. Филиппов – студент кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

Ю. П. Иванов (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ «СПЕКТРАЛЬНО-СИНГУЛЯРНОГО» СПОСОБА АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ПЕРИОДОГРАММ ШУСТЕРА С АЛГОРИТМОМ КАЛМАНА

Методы оптимального оценивания параметров по мере поступления измерительной информации широко применяют в различных областях техники. Оптимальные алгоритмы оценивания являются результатом решения соответствующих модельных задач при наличии полной априорной статистической определённости относительно моделей сигналов, помех и погрешностей. На практике же, как правило, встречаются такие ситуации, в которых априорная статистическая информация либо известна приближенно, либо полностью отсутствует. В этом случае условия модельных задач оказываются нарушенными, полученные алгоритмы оценивания становятся неоптимальными, а формируемые ими оценки могут стать несостоятельными и, более того, оказаться расходящимися. [1]

Степень априорной неопределенности может быть различной:

- полная априорная статистическая неопределенность: неизвестны ни виды, ни параметры законов распределения вероятностей компонент оцениваемых и измеряемых случайных процессов; заданы лишь допустимые конечные области, в которых изменяются соответствующие компоненты случайных процессов;

- частичная априорная статистическая неопределенность: закон распределения компонент оцениваемых и измеряемых случайных процессов известен с точностью до некоторой совокупности параметров.

Для преодоления параметрической неопределенности флуктуационных погрешностей измерения обычно применяют адаптивный байесов подход [3]. Существующие на данный момент алгоритмы адаптивной фильтрации при априорной неопределенности являются сложными, имеют ряд серьезных ограничений на область применения и обычно используются в условиях непараметрической априорной определенности информации о сигнале или помехах измерения [1]. Одним из методов, позволяющих преодолеть значительную неопределенность априорной статистической информации как сигнала так и помехи, значительно упростить алгоритмы обработки сигналов и обеспечить требование ко времени адаптации, является предлагаемый алгоритм адаптивной спектрально-марковской инвариантной фильтрации сигналов.

В данной работе исследуется метод фильтрации сигналов ССА (спектрально-сингулярный анализ) в условиях непараметрической априорной неопределенности на основе сравнения с оптимальным фильтром Калмана. ССА был разработан одновременно и независимо в США и России и использовался для распознавания образов и обработки детерминированных сигналов. Как алгоритм фильтрации для стохастического процесса он используется в этой работе впервые. Предполагается, что модель измерения линейная с аддитивной погрешностью, некоррелированной с полезным сигналом.

Входным сигналом устройства фильтрации является реализация результата измерения, полученная от датчика информации. Первый этап обработки сигнала включает в себя анализ полученной реализации. Для анализа временного ряда выбирается целый параметр L ; назовем его длина окна. Параметр L может выбираться достаточно произвольно. Затем на основе ряда строится траекторная матрица, столбцами которой являются скользящие отрезки ряда длины L : с первой точки по L -ю, со второй по $(L + 1)$ -ю и т. д. Следующий шаг – это сингулярное разложение траекторной матрицы в сумму элементарных матриц. Каждая элементарная матрица задается набором из собственного числа и двух сингулярных векторов – собственного и факторного.

Предположим, что исходный временной ряд является суммой нескольких рядов. Теоретические результаты позволяют при некоторых условиях определить по виду собственных чисел, собственных и факторных векторов, что это за слагаемые и какой набор элементарных матриц соответствует каждому

из них. Суммируя элементарные матрицы внутри каждого набора, и затем, переходя от результирующих матриц к ряду, мы получаем разложение ряда на аддитивные слагаемые, например, на сумму тренда, периодики и шума или на сумму низкочастотной и высокочастотной составляющих. В качестве критерия эффективности фильтрации была выбрана дисперсия ошибки оценки полезного сигнала.

Таким образом, целью метода является разложение временного ряда на интерпретируемые аддитивные составляющие. При этом метод не требует стационарности ряда, знания модели тренда, а также сведений о наличии в ряде периодических составляющих и их периодах. При таких слабых предположениях метод ССА может решать различные задачи, такие как, например, выделение тренда, обнаружение периодик, сглаживание ряда, построение полного разложения ряда в сумму тренда, периодик и шума. [2]

Метод группировки компонент основан на анализе собственных векторов и собственных чисел полученных на этапе разложения. Наибольший интерес представляет метод использующий периодограмму Шустера, построенную по собственным векторам.

Такой широкий спектр возможностей при достаточно слабых предположениях заключается в идеологии метода, не требующего полного знания модели измерения. Для проверки гипотезы о наличии помехи измерения и фильтрации сигнала вообще требуется построение модели, которое может быть проведено с помощью метода ССА. Отметим также, что рассматриваемый непараметрический метод позволяет получить результаты часто лишь незначительно уступающие по точности параметрическим методам фильтрации. [2]

По результатам моделирования стало известно, что по дисперсии ошибки оценки ССА в диапазоне отношения СКО сигнал/шум от 0.5 до 10 ССА дает лучшие результаты, чем метод, основанный на фильтре Калмана, но по среднеквадратическому отклонению Калман на 1-2% лучше Гусеницы. Также было выяснено, что на качество результата больше всего влияет шаг группировки. Были исследованы два метода группировки: по собственным числам и по построению периодограммы Шустера по собственным векторам. Метод основанный на периодограмме Шустера несколько более затратен по вычислительным ресурсам, но позволяет фильтровать более сложные по структуре сигналы. Таким образом, было сохранено главное достоинство алгоритма – возможность работы в условиях полной априорной неопределенности. Также во время моделирования было обнаружено, что параметр длины окна лучше всего брать равным $1/4 - 1/3$ от длины обрабатываемой последовательности. Также были проведены исследования с коррелированной помехой, при этом не было необходимости в изменении самого алгоритма.

Библиографический список

1. Огарков М.А. Методы статистического оценивания параметров случайных процессов. М.: Энергоатомиздат, 1990. 208 с.
2. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. СПб., 2004. 76 с.
3. Репин В.Г., Тартаковский Г.П. Статистический синтез при априорной неопределённости и адаптации информационных систем. М.: Советское радио, 1977. 432 с.