

УДК 621.391

**ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТРИЧНЫХ МЕТОДОВ**

**INCREASED NOISE IMMUNITY CONTROL CHANNELS
USING MATRIX METHODS**

О.Р. НИКИТИН, Д.А. МАРТЫШЕВСКАЯ
O.R. NIKITIN, D.A. MARTYSHEVSKAY

(Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых)
(Vladimir State University named after Alexander and Nikolai Stoletovs)
E-mail: olnikin@vlsu.ru

В современном кластере текстильных предприятий важной задачей является организация бесперебойной качественной связи для передачи управленческих решений и другой информации. Для повышения помехоустойчивости передачи сигналов возможно использовать матричную обработку сигналов, заключающуюся в сингулярном разложении временных рядов, полученных из выборок принимаемого сигнала. Метод позволяет эффективно очищать полезные сигналы от шумов.

The organization of reliable and qualitative communication for transmission of management and other information is significant problem in modern cluster of textile enterprises. Matrix processing of signals that consists of singular decomposition of time series of received signals may be used to increase interference immunity. Method gives opportunity to clear useful signals from noise.

Ключевые слова: надежность связи, помехоустойчивость, матричные преобразования.

Keywords: reliability of communication, interference immunity, matrix transformations.

Современное производство зачастую состоит из нескольких территориально разнесенных, но тесно связанных предприятий, объединенных общим технологическим циклом. В связи с этим неизбежно использование различных каналов связи и управления как автоматизированного, так и с участием человека. По различным причинам для этого иногда выгоднее применять радиоканалы. Однако использование радиоканалов сопровождается рядом особенностей.

Эти особенности заключаются в наличии шумов приемника, значительно ухудшающих качество передачи информации. Существуют различные методы снижения негативного влияния шумов. Однако зачастую они не обладают достаточной эффективностью. В то же время начинают применяться методы матричной обработки сигналов, которые позволяют получить значительный положительный эффект.

Один из них заключается в использовании сингулярного преобразования сигналов [1...3]. В ряде публикаций метод называется SSA – Singular Spectrum Analysis (сингулярный спектральный анализ). Часто используется отечественное название – метод "Гусеница", из-за некоторого сходства процедуры получения исходной матрицы с помощью скользящего окна, формирующего строки матрицы путем выделения фрагментов временного ряда [4], [5]).

При использовании этого метода отсчеты принимаемого сигнала формируют временной ряд с определенной структурой, зависящей как от полезного информационного сигнала, так и от шумовой составляющей. При исследовании структуры такого временного ряда $s(t)$, состоящего из N отсчетов s_1, \dots, s_N , важным является отделение характеристик полезного сигнала от характеристик шума и последующее их удаление.

При этом выбирается некоторая длина L скользящего вдоль выборки окна. Как правило, величина $L < N$. Сначала формируется некоторая исходная матрица A . В первую строку этой исходной матрицы A помещаются первые L отсчетов s_1, \dots, s_L ,

во вторую строку помещаются отсчеты s_2, \dots, s_{L+1} и так далее, в последнюю строку помещаются отсчеты s_m, \dots, s_{m+L} . Естественно, все эти временные отрезки будут наследовать свойства всего ряда. Если ряд содержит периодическую составляющую (одну или несколько), то такими же будут и строки исходной матрицы A . Иногда набор строк-векторов рассматривается как набор главных компонент некоторой многомерной выборки.

Кроме того, если временной ряд образуется с помощью линейной рекуррентной формулы, то в сингулярном разложении (SVD) построенной соответственно исходной матрицы ненулевых компонент оказывается только небольшое число (при достаточно больших L и N), причем это число не зависит от длины окна. Это может быть использовано для очищения сигналов от шумов с помощью итеративного применения SVD посредством аппроксимации исходной матрицы A некоторой ганкелевой матрицей (матрицей, у которой в антидиагоналях стоят одинаковые числа).

Исходя из предположения, что каждое сингулярное число характеризует определенную аддитивную составляющую временного ряда, можно выделить по отдельности эти составляющие, основываясь на величине соответствующих сингулярных чисел.

Для этого нужно строку левой матрицы разложения u_i умножить на строку правой матрицы v_i разложения, причем номера столбца и строки определяются номером i соответствующего сингулярного числа λ_i . В результате получится некоторая частная матрица, соответствующая выбранному сингулярному числу. Строки полученной таким образом матрицы – это одна из составляющих исходного временного ряда, аналогично обработанная скользящим временным окном и имеющая максимальную интенсивность. Однако если в исходной матрице соответствующие элементы всех строк с учетом нужного сдвига индексов были равны, то теперь элементы этой выделенной первой составляющей с учетом такого же сдвига индексов уже не равны из-

за влияния шумов и других составляющих, хотя должны быть одинаковыми. В таком случае, определяя величину каждого временного отсчета первой составляющей как среднее по всем элементам антидиагонали, удастся снизить уровень шума и значительно очистить каждый отсчет.

Сказанное справедливо для всех аддитивных составляющих исходного временного ряда, а значит как для полезной информационной составляющей, так и для шумовой составляющей. Для выделения i -й составляющей необходимо вычислить i -ю обратную матрицу $A_i = \lambda_i u_i v_i^T$ и произвести усреднение ее элементов по каждой антидиагонали. Если нужно просто отсеять маломощные составляющие, то оставляются полученные с помощью этой формулы несколько мощных первых составляющих.

Гармонические компоненты порождают пары строк в сингулярном разложении, причем если произведения Lw и mw – целые числа (w – частота гармонической компоненты), то сингулярные числа обеих компонент будут совпадать.

Соответствующая возможность разделения разных аддитивных составляющих зависит от их свойств, а также в большой степени от параметров и процедуры формирования исходной матрицы A , кроме этого, от их соотношения с периодическими и шумовыми параметрами временного ряда $s(t)$, например, кратности периоду.

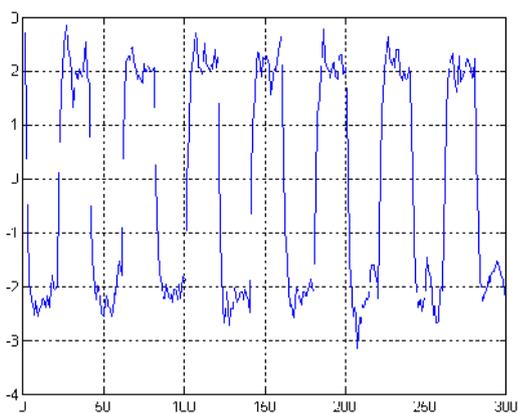


Рис. 1

На рис. 1 и 2 представлен пример использования матричной обработки для очистки цифрового сигнала, представ-

Длительность скользящего окна L часто выбирается соответствующей ориентировочной длительности интервала корреляции шума, однако с увеличением L степень фильтрации шумов возрастает, но временная разрешающая способность снижается из-за увеличения роли сглаживающих эффектов.

Для асимптотических случаев аддитивные составляющие временного ряда с различными частотами разделимы. Однако математическая обработка временных рядов очень большой длины N (что порождает соответствующие матрицы также очень большого размера) достаточно трудно осуществима практически. В связи с этим можно говорить только о приблизительной разделимости или оценивать ее со статистических позиций. Также при наличии шума, который можно представить как сумму большого количества гармоник с разными частотами, точная разделимость вообще неосуществима. Поэтому важной выступает априорная информация об ожидаемых свойствах и параметрах аддитивных компонент временного ряда.

Метод "Гусеница" может быть модифицирован, если в качестве результирующего сигнала использовать только антидиагонали с наибольшим количеством составляющих, так как увеличение числа составляющих приводит к росту отношения "сигнал/шум" после обработки.

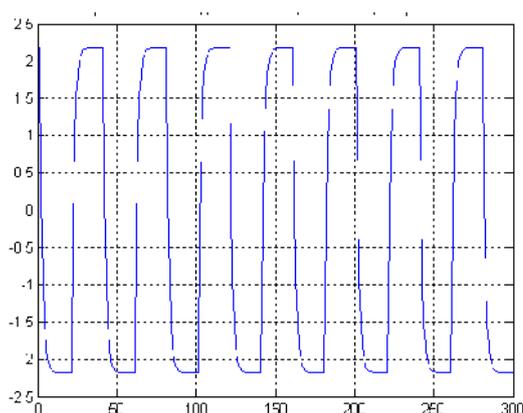


Рис. 2

ляющего собой прямоугольные импульсы, пораженные шумом. На рис. 1 показан бинарный сигнал, пораженный шумом, су-

щественно искажающим его форму. На рис. 2 представлен тот же сигнал, но прошедший очистку от шума с использованием матричной обработки. По горизонтальной оси отложены 300 отсчетов сигнала, по вертикальной оси – значения сигналов в относительных единицах.

Таким образом, применение матричной обработки позволяет в значительной мере очищать передаваемые информационные сигналы от шумов, тем самым дает возможность значительно повысить качество и надежность передачи сигналов связи и управления.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Марчук Г.И.* Методы вычислительной математики. – М.: Наука, 1980.

2. *Cadzow J.A.* Signal Enhancement – A Composite Property Mapping Algorithm // IEEE Transaction on Acoustics, Speech and Signal Processing. – 1988, v.36. P. 49...62.

3. *Elsner J. B., Tsonis A. A.* Singular Spectrum Analysis: A New Tool in Time Series Analysis.– New York, London: Plenum Press, 1996.

4. Главные компоненты временных рядов: метод "Гусеница" / Под ред. Д.Л.Данилова, А.А.Жилявского – СПб.: Пресском, 1997.

5. *Полушин П.А., Ермаков А.В.* О возможности применения сингулярного разложения для обработки сигналов / Мат. 10-й Междунар. научн.-техн. конф.: Перспективные технологии в средствах передачи информации (ПТСПИ- 2013).– Владимир, 2013, т.1. С. 133...134.

Рекомендована кафедрой менеджмента и маркетинга. Поступила 02.07.14.