

# Кібернетика та системний аналіз

УДК 621.391

К.С. Васюта, С.А. Щербинин

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛИНЕЙНОПРЕОБРАЗОВАННЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*В статье анализируются свойства линейнопреобразованных стохастических процессов во временной, частотной областях и фазовой плоскости. Рассмотрено три случайных линейнопреобразованных процесса разных порядков с различными параметрами. Внесены практические предложения по использованию данного класса процессов в стегосистемах для повышения скрытности факта передачи и хранения информации.*

**Ключевые слова:** авторегрессионный процесс, процесс скользящего среднего, авторегрессионный процесс скользящего среднего, стегосистема.

### Введение

Применение электронных носителей информации для хранения баз данных, а также повышение разветвленности корпоративных сетей дало скачок в развитии методов несанкционированного снятия информации. Возможность противостоять несанкционированному доступу к информации в большей степени стало характеризовать эффективность работы средств передачи информации, что, в свою очередь, обусловило использование в системах передачи информации разных стеганографических методов, обеспечивающих скрытие самого факта передачи информации. Наиболее прогрессивным из них является метод, позволяющий обеспечивать визуальную схожесть передаваемой информации с шумами среды распространения. То есть метод, обеспечивающий отсутствие видимой упорядоченности и малой вероятности распознавания процессов в рамках корреляционного, спектрального анализа, а также определения закономерности их траектории в фазовом (псевдофазовом) пространстве [1].

На сегодняшний день данный метод передачи информации основывается на использовании фрактальных сигналов с большой степенью вложений [2] или перемешивании хаотической несущей [3]. Однако фазовый портрет сигнала на выходе передатчика при применении данных методов имеет хоть и очень сложную, но все же структурированную форму. Поскольку все же необходимо обеспечить схожесть передаваемой информации с шумами среды распространения, то в качестве переносчика информации предложено применять сигналы на основе линейнопреобразованных стохастических процессов.

**Целью данной статьи** является определение характера поведения линейнопреобразованных стохастических процессов с разными параметрами во

временной, частотной областях и фазовой плоскости, а также формирование предложений по использованию данного класса процессов в стеганографических методах для повышения скрытности факта передачи и хранения информации.

### Результаты исследований

На сегодняшний день существует много линейнопреобразованных стохастических процессов. В данной статье рассмотрим только самые простые из них, к которым относятся:

1. Авторегрессионный процесс (AR).
2. Процесс скользящего среднего (MA).
3. Авторегрессионный процесс скользящего среднего (ARMA).

Для определения характера поведения линейнопреобразованных стохастических процессов с разными параметрами во временной, частотной областях и фазовой плоскости в работе исследуются временные реализации процессов, частотные спектры и динамика поведения данного вида процессов в фазовом пространстве.

Временные реализации строятся путем отложения по оси ординат значений процесса  $X_t$  в дискретное время, а по оси абсцисс – значений дискреты  $t = 1, 2, \dots, n$ . Анализ спектров сигналов осуществляется на основе комплексного дискретного преобразования Фурье.

$$X_t = \sum_{i=0}^{N-1} x_i (a_1 W_N^{it} + a_2 W_N^{-it}),$$

где  $t = 0, \dots, N-1$ ,  $a_1, a_2 \in \mathbb{C}$ ,  $W_N = e^{-j(2\pi/N)}$ ,  $j$  – мнимая единица.

Фазовые портреты характеризуют закономерности эволюции поведения процесса и являются графиками зависимости последующего значения процесса от предыдущего.

### Авторегрессионный процесс

Авторегрессионный процесс – это процесс, в котором изменение переменной в некий момент времени является линейнокоррелированным с предыдущим изменением. Корреляция в данном процессе уменьшается экспоненциально со временем и исчезает за относительно короткий период [4].

Модель авторегрессионного процесса  $q$ -порядка записывается как  $AR(q)$  и имеет вид [4, 5]:

$$X_t = \xi_t + \sum_{j=1}^q b_j X_{t-j}, \quad (1)$$

где  $\xi_t$  – белый Гауссовский шум с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией;  $b_j$  – параметр модели  $|b_j| \leq 1$ ;  $q$  – порядок модели.

Анализ свойств AR проведен на основе имитационного моделирования авторегрессионных процессов разных порядков:  $AR(1)$ ,  $AR(2)$ ,  $AR(3)$ , где параметр модели изменялся в диапазоне  $-1 \leq b_j \leq 1$ , ( $j=1, \dots, q$ ) и  $b_1 = b_2 = \dots = b_q$ .

Результаты имитационного моделирования представлены на рис. 1.

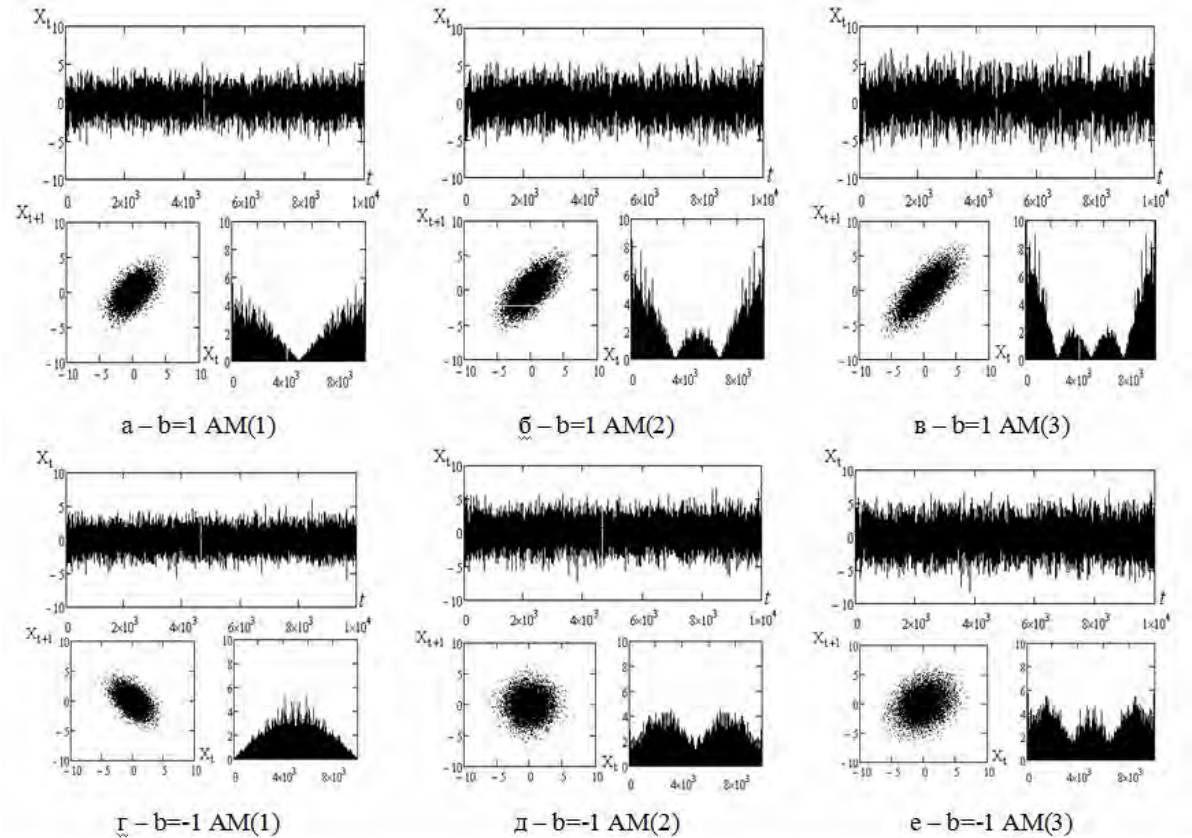


Рис. 1. Временные реализации, частотные спектры и фазовые портреты авторегрессионного процесса разного порядка с различными значениями параметра модели

Из рисунка видно, что при изменении знака параметра модели  $AR$  в фазовой плоскости меняет свое поведение с антиперсистентного на персистентный. Также видно, что с увеличением порядка  $AR$  в частотном спектре начинает увеличиваться количество максимумов и минимумов прямо пропорционально увеличению порядка  $AR$ . При этом фазовый портрет антиперсистентного процесса с увеличением порядка  $AR$  стремится к уменьшению своей структурированности, а персистентный процесс, напротив, стремится к ее увеличению.

Исходя из вышесказанного, следует, что для повышения скрытности передачи сообщений методом "импульсное радио" [6] необходимо применять авторегрессионные модели одинакового порядка, с раз-

ными знаками параметра модели, а также значения процессов должны быть обратно пропорциональны друг другу. Данный принцип выбора  $AR$  обеспечит схожесть всего объема передаваемого сообщения с шумами среды распространения как во время-частотной области, так и в фазовом пространстве [7].

### Процесс скользящего среднего

Процесс скользящего среднего – это временной ряд, результат среднего значения ненаблюдаемого временного ряда [4].

Модель скользящего среднего  $q$ -порядка записывается как  $MA(q)$  и имеет вид:

$$X_t = \sum_{j=1}^q b_j \xi_{t-j}, \quad (2)$$

где  $\xi_t$  – белый Гауссовский шум с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией;  $b_j$  – параметр модели.

В рамках анализа, как и для AR, было проведено имитационное моделирование процессов MA(1), MA(2), MA(3), результаты которого приведены на рис. 2.

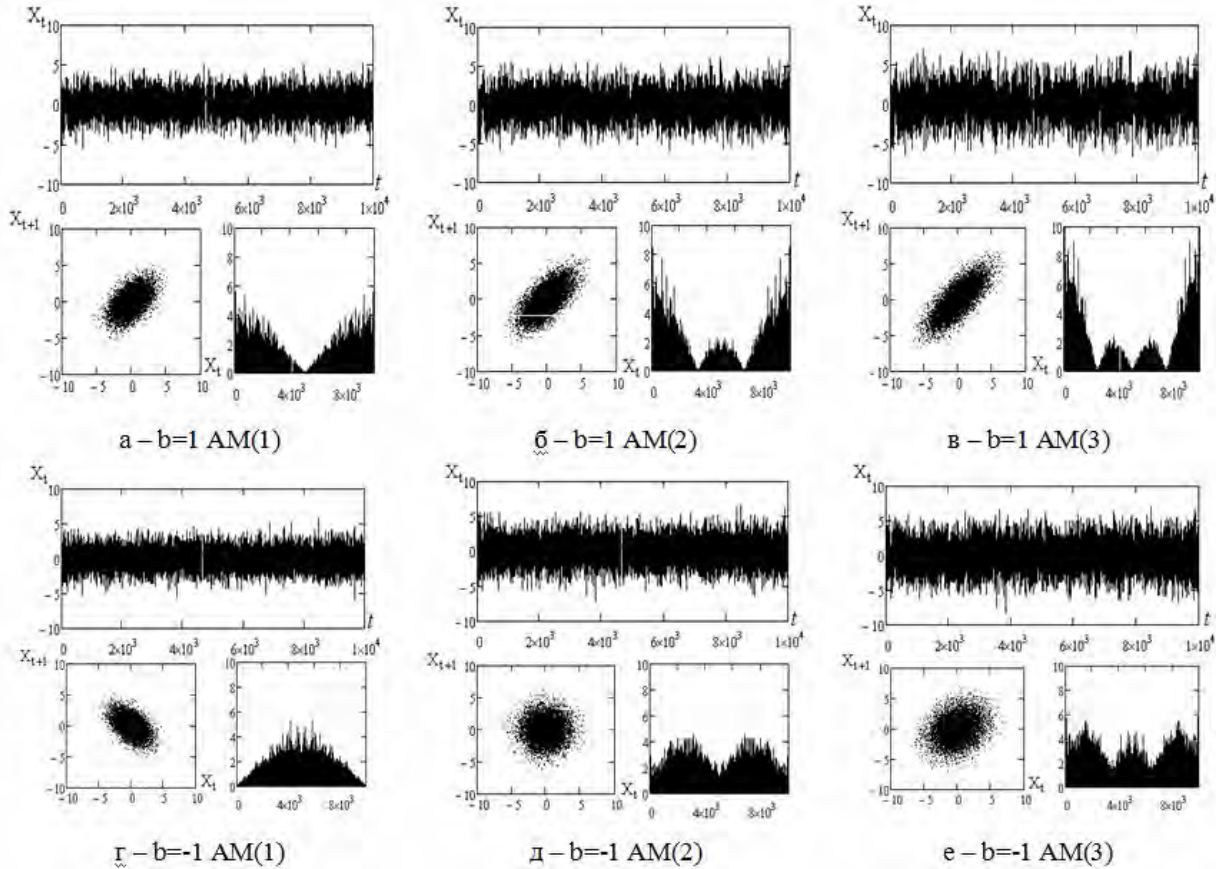


Рис. 2. Временные реализации, частотные спектры и фазовые портреты скользящего среднего разного порядка с различными значениями параметра модели

Из рис. 2 видно, что, в отличие от AR, MA меняет свое поведение с антиперсистентного на персистентный только лишь для MA(1), а во всех остальных случаях поведения MA имеет персистентный вид. Для MA, как и для AR, сохраняется схожая картина поведения в частотной области, когда с возрастанием порядка процесса прямо пропорционально увеличивается количество максимумов и минимумов.

Однако скорость возрастания амплитуды спектра для MA приблизительно в два раза меньше, чем для AR.

Из приведенных выше свойств видно, что MA, как переносчик информации, можно применять только для порядка MA(1), либо использовать его комплексно с AR, что значительно расширит его возможности.

### Авторегрессионный процесс скользящего среднего

Модели процессов данного типа являются смешанными моделями скользящего среднего и авторегрессии [4].

Модель ARMA(p,q), где p и q – целые числа, задающие порядок модели.

Данная модель задается следующим образом:

$$X_t = \xi_t + \sum_{j=1}^p a_j X_{t-j} + \sum_{j=1}^q b_j \xi_{t-j},$$

где  $\xi_t$  – белый Гауссовский шум с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией;

$a_j, b_j$  – параметры модели.

Для более подробного анализа свойств данного процесса так же было проведено имитационное моделирование, результаты которого представлены на рис. 3. Из рис. 3 а, б видно, что составляющая MA сильно влияет на спектр получаемой последовательности. Чем больше показатель MA, тем больше количество максимумов наблюдается на графике спектра. Рис. 3 в, г, д показывает, что с изменением параметра AR количество максимумов на максимуме MA возрастает прямо пропорционально показателю порядка. При изменении знака параметров AR и MA имеет место аналогичная ситуация только с минимумами.

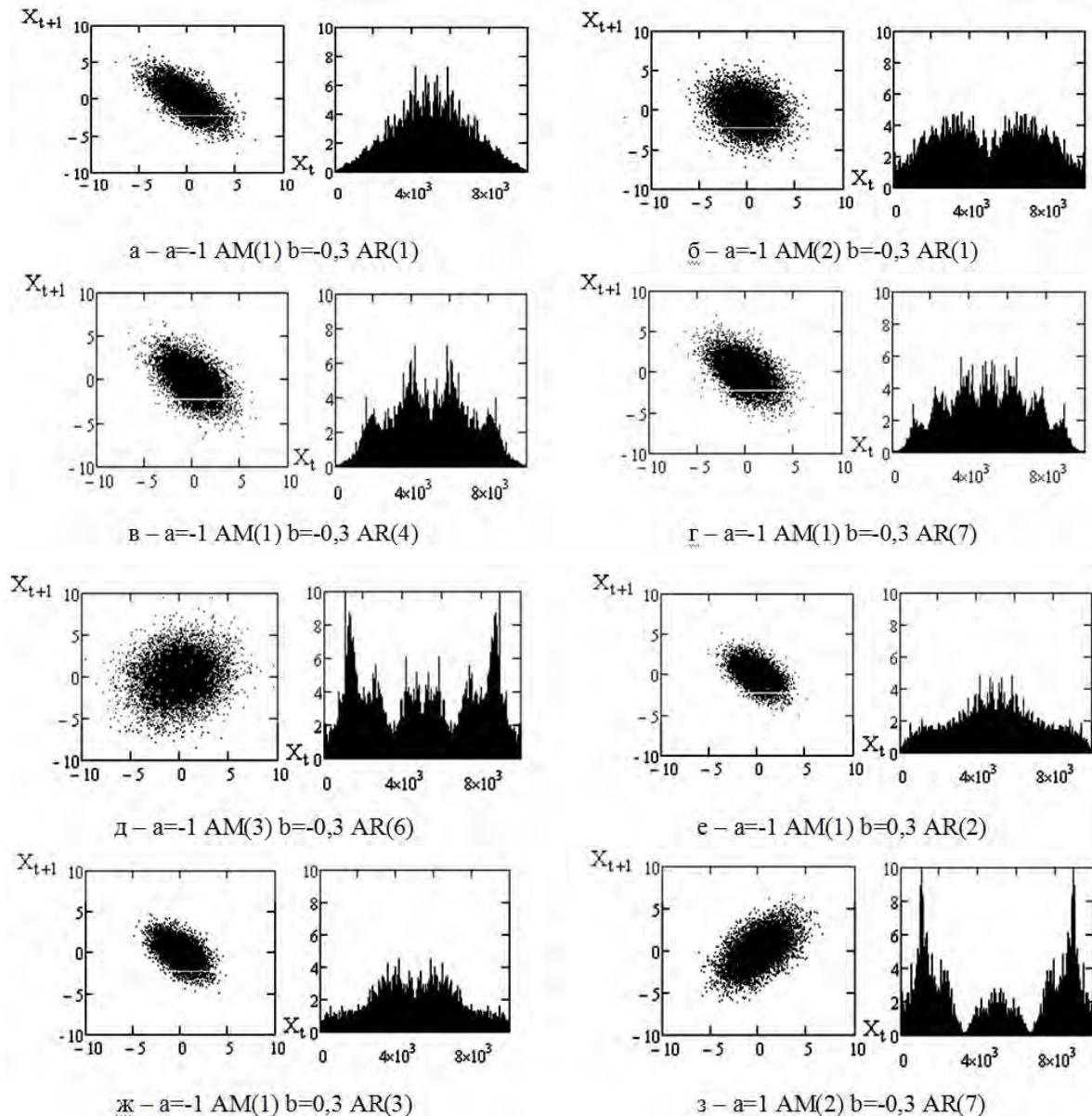


Рис. 3. Частотные спектры и фазовые портреты ARMA разного порядка с различными значениями параметра модели

Из рис. 3 е, ж, з видно, что знак параметра процесса характеризует при его положительном значении количество минимумов в частотном спектре, при отрицательном значении количество максимумов.

Изменение фазовых портретов подчиняются законам, которые характерны для МА, что говорит о большей зависимости ARMA от изменения порядка МА, чем AR.

## Выводы

Применение стохастических процессов в качестве носителей информации повышает скрытность факта передачи информации.

Такие процессы могут обеспечивать отсутствие видимой упорядоченности в рамках корреляционного, спектрального анализ, а также определения

структурированности его траектории в фазовом пространстве.

Наиболее простым способом передачи информации является метод, использующий в качестве переносчика информации авторегрессионный процесс.

Однако, структура его изменения линейна, что уменьшает скрытность факта передачи. С точки зрения наибольшей скрытности самым эффективным способом передачи информации является метод, использующий в качестве переносчика информации ARMA, поскольку данный процесс имеет очень сложную структуру спектра.

Комплексное применение разных видов стохастических процессов дает возможность увеличить количество возможных комбинаций скрытия информации от несанкционированного наблюдателя.

## Список литературы

1. Использование BDS-статистики для оценки скрытности сигнала полученного перемешиванием хаотической несущей / П.Ю. Костенко, С.Н. Симоненко, А.Н. Барсуков, К.С. Васюта / Известия ВУЗов. Сер, Радиоэлектроника: науч.-техн. журн. – 2010. – Том 53, № 6. – С. 41-45.

2. Пащенко Р.Э. Основы теории формирования фрактальных сигналов / Р.Э. Пащенко. – Х.: НЭО "ЭкоПерспектива" 2005.

3. Повышение скрытности хаотических сигналов при передаче бинарных сообщений / П.Ю. Костенко, С.Н. Симоненко, С.Г. Семенов, К.С. Васюта // – Х.: Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 2009. – Т. 52, № 8. – С. 13-25.

4. Эдгар Э.Петерс Фрактальный анализ финансовых рынков / Эдгар Э.Петерс. – М.: Интернет-Трейдинг, 2004. – 292 с.

5. Тихомиров Н.П. Эконометрика / Н.П. Тихомиров, Е.Ю. Дорохина. – М.: Изд-во Рос. экон. акад., 2002. – 640 с.

6. PulsON Technology. Time Modulated Ultra-Wideband for Wireless Applications.-Time Domain Corporation, 2000 available at: www.timedomain.com.

7. Васюта К.С. Манипуляции показателя Херста фрактального "цветного" Гауссовского шума / К.С. Васюта. – Х. Системи обробки інформації. – 2010. – № 6(87). – С. 62-65.

Поступила в редколлегию 29.01.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.И. Сухаревский, Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛІНІЙНО-ПЕРЕТВОРЕНИХ СТОХАСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

К.С. Васюта, С.О. Щербінін

В статті аналізуються властивості лінійно перетворених стохастичних процесів в часовій, частотній областях та фазовій площині. Розглянуто три лінійних процеси різними порядків з різними параметрами. Дані практичні пропозиції щодо подальшого використання даного класу процесів в стегосистемах для підвищення прихованості факту передачі та зберігання інформації.

**Ключові слова:** авторегресійний процес, процес змінного середнього, авторегресійний процес змінного середнього, стегосистеми.

## STUDY OF THE PROPERTIES OF LINEAR TRANSFORMED STOCHASTIC PROCESSES

K.S. Vasyuta, S.A. Shcherbinin

The properties of linear transformed stochastic processes in the time, frequency domains and phase plane are analyzed in the paper. Three random linear transformed processes of different degrees with different parameters are considered. Practical suggestions for using this class of processes in stegosystems to increase security of the information transfer and storage are made.

**Keywords:** autoregression process, the process of moving average, autoregression process of moving average, stegosystem.