УДК 004.852

ЭКСПЕРИМЕНТЫ С НЕЙРОСЕТЕВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ СГЛАЖИВАНИЯ СИГНАЛА

Д.О. Быкова[1], В.В. Сергеев[1]

[1]Самарский университет, г. Самара
e-mail: 2019-01691@students.ssau.ru

Аннотация

Работа посвящена задаче слепой параметрической идентификации линейной искажающей системы с помощью нейросетей. Сравниваются два метода: использование временных отсчетов сигнала и применение спектральных признаков, а также различные нейросетевые архитектуры. Показано, что применение спектральных признаков обеспечивает более устойчивый результат идентификации.

Ключевые слова: линейная искажающая система, нейросетевая идентификация, спектральные признаки, временной ряд.

Введение

При обработке изображений и сигналов возникает задача идентификации линейной искажающей системы. В условиях отсутствия доступа к исходному сигналу актуальным является использование методов, позволяющих идентифицировать характеристики искажающей системы только по наблюдаемым данным.

Использование нейросетевых моделей позволяет реализовать подобные методы, но требует анализа влияния различных комбинаций параметров обучения и способов предобработки наблюдаемых сигналов на точность идентификации характеристик линейных искажающих систем.

1. Постановка задачи

Данная работа посвящена решению частной задачи слепой идентификации искажающей линейной инвариантной к сдвигу (ЛИС-) системы с гауссовой импульсной характеристикой, параметризованной величиной σ. Требуется оценить значение параметра σ при ненаблюдаемом случайном входном сигнале по наблюдаемому выходному сигналу. В качестве входных сигналов используются стационарные случайные процессы с экспоненциальной автокорреляционной функцией при заданном значении коэффициента корреляции между соседними отсчетами [1, 2].

В рамках решения данной задачи были исследованы два подхода. Первый подход основан на непосредственном использовании фрагментов выходного сигнала во временной области. По множеству данных фрагментов фиксированной длины строится регрессионная зависимость для оценки параметра σ с использованием нейросетевых моделей. Второй подход основан на предварительном преобразовании наблюдаемого сигнала, когда при обучении нейросетевых моделей в качестве признаков используются скользящие оценки энергии спектральных компонент выходного сигнала для фиксированного набора частот.

2. Методы и эксперимент

2.1 Общая схема эксперимента

Синтезируется входной сигнал, затем он пропускается через искажающую ЛИС-систему в соответствии с формулой (1) с заданным значением параметра σ, далее по полученному наблюдаемому сигналу решается задача оценки этого параметра [3].

$$h(n) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp\left(-\frac{n^2}{2\sigma^2}\right). \quad (1)$$

На рисунке 1 представлены примеры сгенерированных сигналов. Для формирования обучающей выборки производится генерация реализации сигналов различной длины. Для оценки параметра σ используются нейросетевые модели следующих архитектур: многослойный перцептрон (MLP), свёрточная нейронная сеть (CNN) и рекуррентная нейронная сеть (GRU) [4]. Качество идентификации определяется по средней абсолютной ошибке оценки параметра σ.

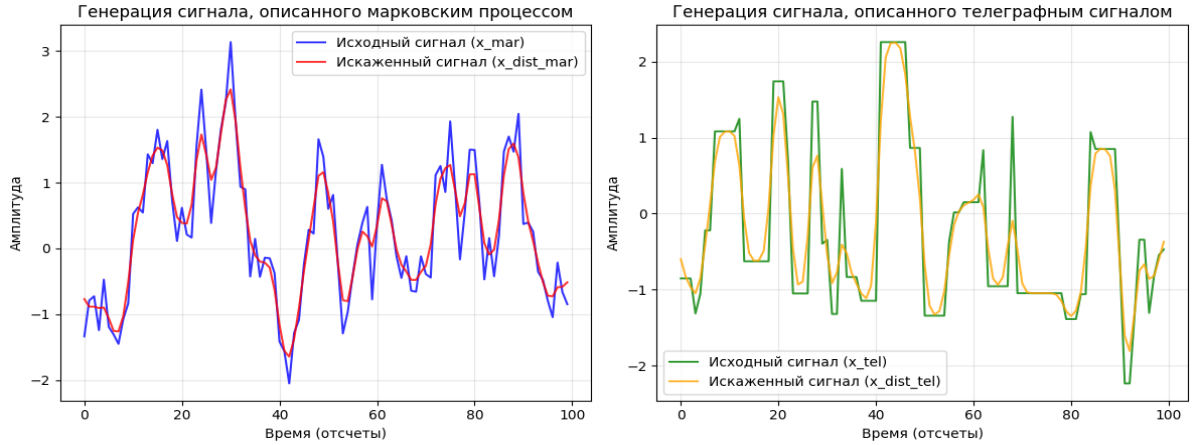


Рисунок 1 – Примеры сгенерированных сигналов

2.2 Метод анализа во временной области

В рамках метода в качестве входных данных используются фрагменты наблюдаемого сигнала фиксированной длины. Каждый элемент выборки представляет собой вектор последовательных отсчетов наблюдаемого сигнала, длина которого варьируется в диапазоне $\{\mathbf{5}, \mathbf{7}, \mathbf{9}, \mathbf{11}, \mathbf{13}\}$, и соответствующее ему значение параметра σ.

В эксперименте использовались нейросетевые модели различных архитектур [4]. Полученные оценки параметра σ агрегируются по всем фрагментам, затем вычисляется средняя ошибка для каждого истинного значения σ.

2.3 Метод использования спектральных признаков

В рамках метода выполняется предварительное преобразование сигнала. Для каждого наблюдаемого сигнала вычисляются энергии спектральных компонент (2) на фиксированном наборе частот $\omega \in \{\pi, \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{8}, \frac{\pi}{16}, \frac{\pi}{32}\}$.

$$E(\omega) = |S(\omega)|^2, \quad (2)$$

где $E(\omega)$ – энергия спектральной компоненты сигнала на частоте ω, $S(\omega)$ – спектр сигала.

В качестве признаков используются последовательности, описывающие значения этих энергий, начиная с некоторого номера отсчета. Таким образом, каждый элемент

выборки представляет собой вектор локальных энергий спектральных компонент и соответствующее значение параметра σ. При проведении эксперимента в данном методе варьируются длина сигнала, тип входного сигнала, нейросетевые модели и параметр $0{,}2 \leq \sigma \leq 2{,}0$ [4].

3. Результаты эксперимента

В таблице 1 представлены лучшие показатели средней абсолютной ошибки для каждого метода.

Таблица 1 – Лучшие показатели средней абсолютной ошибки

Метод	Модель	Тип сигнала	Число отсчетов	Ошибка
Анализ во временной области	CNN	Марковский процесс	100000	0,1167
		Телеграфный сигнал	50000	0,2152
Использование спектральных признаков	GRU	Марковский процесс	20000	0,0628
		Телеграфный сигнал	20000	0,1748

В рамках исследования первого метода наименьшая средняя абсолютная ошибка получена при обучении модели CNN на последовательности, описанной марковским процессом, длиной 100000 отсчетов, длина фиксированного окна равна 7. Для второго метода наименьшая средняя абсолютная ошибка получена при обучении модели GRU на последовательности, описанной марковским процессом, длиной 20000.

На рисунке 2 представлены оценки средней абсолютной ошибки внутри групп с одинаковыми истинными значениями параметра σ для лучших показателей в рамках каждого метода.

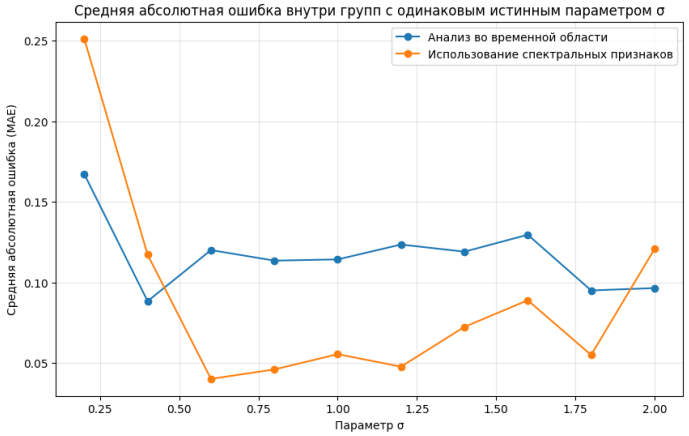


Рисунок 2 – Средняя абсолютная ошибка внутри групп с одинаковым истинным параметром σ

Проведенные эксперименты показали, что использование спектральных признаков позволяет повысить точность идентификации параметра линейной искажающей системы. Минимальная ошибка 0,0628 достигнута при использовании модели GRU. Наилучшая точность достигается для входных сигналов, описанных марковским процессом. Использование спектральных признаков демонстрирует более устойчивое поведение по отношению к типу входного сигнала.

Заключение

В работе рассмотрена задача слепой идентификации параметра линейной искажающей системы на основе наблюдаемого сигнала. Проведен сравнительный анализ двух подходов к решению поставленной задачи: метода, основанного на непосредственном использовании отсчетов сигнала, и метода, использующего спектральные признаки. Для аппроксимации регрессионной зависимости параметра σ от вектора признаков были применены нейросетевые архитектуры [4].

Результаты экспериментов показали, что наилучшая точность достигается при использовании спектральных признаков, также данный метод обеспечивает устойчивость к типу входного сигнала.

Список использованных источников

1. Булинский, А. В. Теория случайных процессов: учебное пособие / А. В. Булинский, А. Н. Ширяев. – Москва: Физматлит, 2005. – 400 с.

2. Якубович, Б. И. О спектре случайного телеграфного сигнала / Б. И. Якубович // Письма в журнал технической физики. – 1995. – Т. 21, № 24. – С. 10–14.

3. Методы компьютерной обработки изображений: учебное пособие / М. В. Гашников, Н. И. Глумов, Н. Ю. Ильясова [и др.]. – Москва: Физико-математическая литература, 2003. – 784 с.

4. Гафаров, Ф. М. Искусственные нейронные сети и их приложения: учебное пособие / Ф. М. Гафаров, А. Ф. Галимянов. – Казань: Издательство Казанского университета, 2018. – 121 с.

EXPERIMENTS ON NEURAL NETWORK-BASED IDENTIFICATION OF A LINEAR SIGNAL SMOOTHING SYSTEM

D.O. Bykova[1], V.V. Sergeev[1]

[1]Samara University, Samara
e-mail: 2019-01691@students.ssau.ru

Abstract

The work is devoted to the task of blind identification of a parameter of a linear distorting system. Two approaches are compared: the use of time-domain signal samples and spectral features, as well as neural network architectures. It is shown that the use of spectral component energies provides a more stable results.

Keywords: linear distorting system, neural network-based identification, spectral features, time series.