

Использование полумарковских вложенных процессов для описания нестационарных акустических шумов.

В.И. Луценко¹, И.В. Луценко¹, Ло Иян², А.В. Соболяк³.

¹Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАНУ, 61085, Харьков, ул. Проскуры, 12. тел.: +38 (093)-123-2881, E-mail: secretar@ire.kharkov.ua

²Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского, 61070, Харьков, ул. Чкалова 17. E-mail: yiyangluo@163.com

³ГП Харьковское конструкторское бюро по машиностроению им. А. А. Морозова Украина, 61001, Харьков, ул. Плехановская, 126. E-mail: sobolyak@ukr.net

Предложена имитационная модель нестационарных акустических шумов, создаваемых природными и антропогенными объектами, использующая вложенные полумарковские процессы. Показано, что акустические шум ветра, листвы деревьев, шаги человека и звуков выстрелов удовлетворительно описываются предложенной моделью.

An imitation model of non-stationary acoustic noise created by natural and anthropogenic objects using nested semi-Markov processes is proposed. It is shown that the acoustic wind noise, tree foliage, human footsteps and the sound of gunshots from automatic weapons are satisfactorily described by the proposed model.

Введение

В последнее время все больший интерес проявляется к пассивным акустическим системам, использующим для решения задач обнаружения и определения координат собственные шумы объектов техники. Обнаружение этих сигналов происходит в условиях шумов естественного (шум ветра, листвы, дождя) и антропогенного (шумы движущихся людей, животных) происхождения. Для них характерна существенная нестационарность во времени и, как правило, негауссов характер статистики. Кроме того, в ряде случаев и полезные сигналы являются существенно нестационарными процессами, например, звуки выстрелов автоматического оружия. Поэтому необходима разработка моделей, позволяющих имитировать нестационарную помехово-сигнальную обстановку и методов оценки рабочих характеристик систем акустической разведки. В работах [1-6] предложено использовать вложенные полумарковские процессы для нестационарных негауссовых помех, создаваемых отражениями радиоволн от поверхности моря [1], суши [3], «ясного неба» [2]. Предложенный подход оказался продуктивным и для описания радиолокационных отражений от малоразмерных надводных целей [6]. В настоящей работе рассмотрена возможность использования этого подхода для описания акустических шумов, вызванных ветром, дождем, листвой деревьев, шагами людей и животных, а также звуками выстрелов автоматического оружия.

1. Математическая формулировка модели

Статистическое описание основано на использовании вложенных двухкомпонентных случайных процессов $\{\overline{S}(t), \theta(t)\}$, у которых одна компонента $\overline{S}(t)$ непрерывна, а другая $\theta(t) = \nu_i$ дискретна. Здесь t обобщенная координата, в качестве которой могут выступать время и пространственные координаты. Эти компоненты являются зависимыми и, в общем случае, не Марковскими. Это означает, что не накладывается никаких ограничений на распределение времен существования процесса

в каждом из фазовых состояний. В каждый момент времени процесс находится в одном из K возможных фазовых состояний $H_i \in \nu_1 \dots \nu_K$, причем полагается известным начальное состояние $\theta_0 = \nu_i$ в момент времени $t = 0$ и одношаговые вероятности перехода π_{ij} , где $i, j = \overline{1 \dots K}$. Сопоставим каждому ненулевому элементу π_{ij} матрицы вероятности перехода случайную величину T_{ij} с плотностью распределения $f_{ij}(t)$, которую будем называть временем ожидания в состоянии ν_i до перехода в состояние ν_j . Если величины T_{ij} распределены по экспоненциальному закону, то такой процесс будет Марковским. На практике, во многих случаях, такое предположение не выполняется, в частности, для отражений от суши. Тогда процесс, у которого смена состояний описывается Марковской цепью, а плотность распределения времен существования в каждом из них отличается от экспоненциальной, относится к классу полумарковских [4]. Внутри каждого из ν_i состояний процесс будем полагать квазистационарным, описывающийся своей плотностью распределения значений $[P_i(S)]$ и спектром $[S_i(\omega)]$. Для описания процесса внутри фазового состояния, в ряде случаев, могут быть использованы стандартные модели гауссовых процессов. Однако могут использоваться и финитные атомарные функции [5,6].

2. Результаты экспериментального исследования нестационарных акустических шумов

На рис.1 в качестве примера приведены спектрограммы шума ветра, звуков шагов человека по снежному насту. Аналогичный вид имеют шумы листвы деревьев при ветре, звука выстрела автоматического оружия. Видно, что для этих процессов характерно наличие двух фазовых состояний существенно отличающихся своими спектрами и интенсивностью.

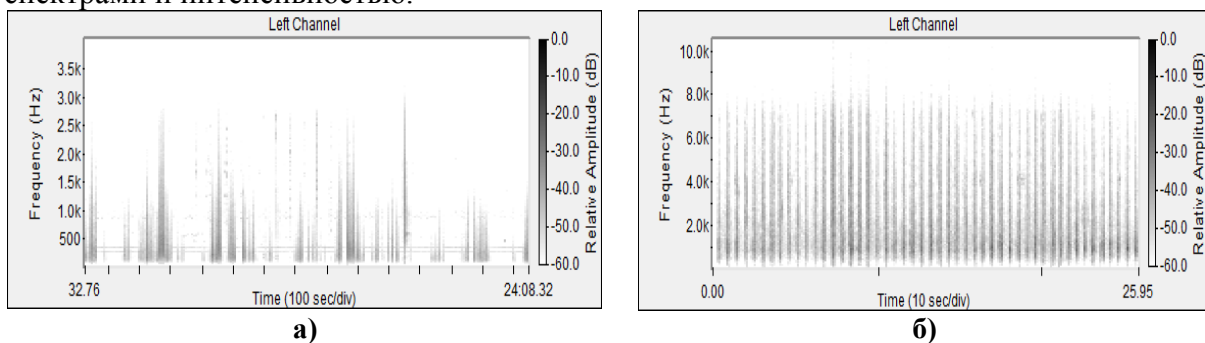


Рис.1. Спектрограммы акустических шумов: а- ветер, б- шаги человека по снежному насту.

На рис.2 приведены спектры различных фазовых состояний шумов. Видно, что при всплесках спектры процессов имеют большую скорость убывания спектральной плотности с частотой. Для описания их формы можно использовать зависимости :

$$S_i(\omega) = \left(1 / \left(1 + \left| \frac{F - F_{0i}}{\Delta F_i} \right|^{n_i} \right) \right)^{-1} \quad (1)$$

где F_{0i} , ΔF_i , n_i - центральное смещение, полуширина и показатель степени спектра в i -м фазовом состоянии процесса.

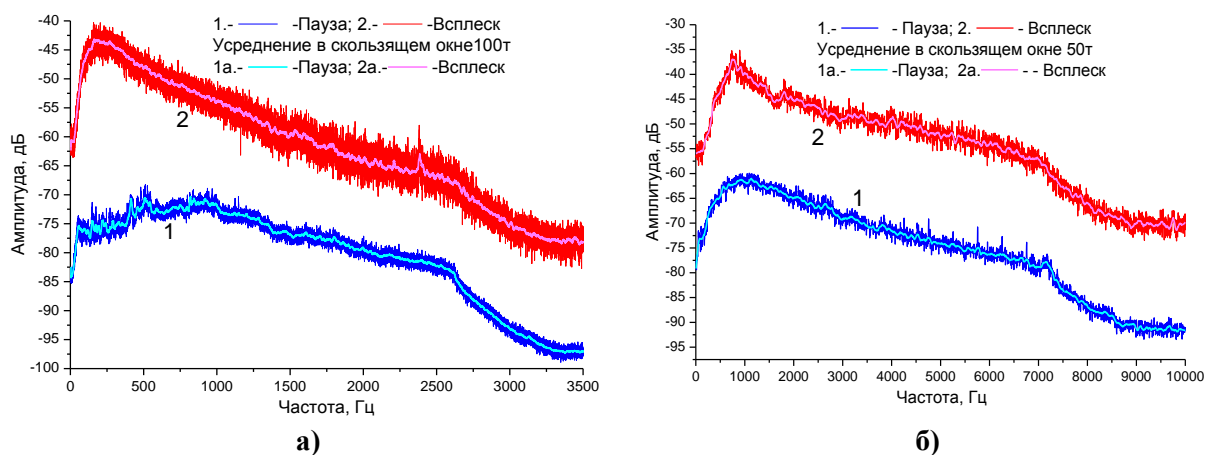


Рис. 2. Спектры акустических шумов: а- ветер, б-- шаги человека по снежному насту: 1- паузы, 2- всплески.

Заключение

Предложена имитационная модель нестационарных акустических шумов природных (ветра, листвы) и антропогенных (шагов человека, выстрелов автоматического оружия) с использованием полумарковских вложенных процессов с двумя фазовыми состояниями. Определены спектральные характеристики (ширина, спектральная плотность, скорость убывания) и времена существования этих процессов в каждом из состояний (всплеск/пауза). Показано, что при всплесках расширение спектра шумов для некоторых из процессов превышает на порядок ширину спектра при паузах, например для звука выстрела. Форма спектра в каждом из фазовых состояний удовлетворительно описывается фрактальной зависимостью, а плотности распределения времен существования в каждом из фазовых состояний существенно отличаются от экспоненциальных.

Литература

1. Луценко В. И. Имитационная модель сигнала обратного рассеяния от морской поверхности // Успехи современной радиоэлектроники. - 2008. - № 4. - С. 59-73.
2. Lutsenko V. I., Khomenko S. I., Zatserklyany A. Ye., Lutsenko I. V. Simulation Statistical Model of Reflection from the "Clear-Sky" // Telecommunications and Radio Engineering. - 2005. - V. 63, № 5. - P. 371-380.
3. Кравченко В.Ф., Луценко В.И., Луценко И.В., Кривенко Е.В., Соболяк А.В. Имитационная модель сигнала обратного рассеяния от суши // Физические основы приборостроения, 2015, Т.4, №4(17). –С.3-29.
4. Кравченко В.Ф., Луценко В.И., Масалов С.А., Пустовойт В.И. Анализ нестационарных сигналов и полей с использованием вложенных полумарковских процессов. // Доклады академии наук. 2013. Т. 453. № 2. С. 151–154.
5. Кравченко В.Ф., Кравченко О.В., Луценко В.И., Луценко И.В., Чуриков Д.В. Восстановление информационных параметров природных сред с использованием атомарных и WA-систем функций. Обзор. Часть I. Применение теории полумарковских полей и финитных функций для описания нестационарных процессов // Физические основы приборостроения. 2014. Т. 3. № 2 (11). С. 3-17.
6. Кравченко В.Ф., Луценко В.И., Луценко И.В. Рассеяние радиоволн морем и обнаружение объектов на его фоне // М. Физматлит, 2015. -448с.