

Некоторые результаты исследования временной изменчивости характеристик гидроакустических шумов в заливе Петра Великого Японского моря

С. В. Горовой*

Дальневосточный федеральный университет, кафедра
приборостроения. Россия, 690650, Владивосток-ГСП, ул. Суханова, д. 8
(Статья поступила 26.07.2017; Подписана в печать 20.09.2017)

Описаны результаты исследования временной изменчивости параметров моделей авторегрессии (АР) и авторегрессии — скользящего среднего (АРСС) фрагментов записей гидроакустического шума, зарегистрированного с помощью одиночного ненаправленного гидрофона в заливе Петра Великого Японского моря вблизи акватории порта Владивосток, для которых оценки одномерной и двумерной плотности распределения мгновенных значений не противоречат гауссовскому закону. Приведены графики и результаты сравнения зависимостей от времени оценок параметров моделей АР(5) и АРСС(3,2) для гидроакустического шума и модельного белого шума в полосе частот 200–1000 Гц. Выборочные дисперсии оценок параметров АР(5) и АРСС(3,2) моделей гидроакустического шума превышают дисперсии оценок этих параметров модельного белого шума на два порядка и более. В отличие от модельного белого шума, через нерегулярные промежутки времени порядка 30 с наблюдаются области «локальной квазистационарности» гидроакустического шума длительностью порядка 3–5 с, в которых выборочные дисперсии параметров АР модели уменьшаются на порядок и более. Полученные результаты можно считать типичными для данной акватории при отсутствии на удалении до 2-х миль движущихся или стоящих на якорю судов и использовать для построения территориально и временно-адаптированных алгоритмов обнаружения сигналов.

PACS: 43.30.+m, 43.60.-c

УДК: 534-14

Ключевые слова: обработка сигналов, гидроакустические шум, модели случайных процессов.

ВВЕДЕНИЕ

В ряде практически важных случаев возникает необходимость обнаружения и оценки параметров сигналов на фоне нестационарных помех, характеристики которых могут изменяться на интервалах времени, сравнимых с длительностями ожидаемых сигналов. В качестве примеров можно привести задачи обнаружения гидроакустических сигналов в районах интенсивного судоходства, в акваториях морских портов, а также задачи приема гидроакустических сигналов с борта движущегося судна на фоне гидродинамических помех.

Для описания временной изменчивости статистических характеристик регистрируемых в подобных условиях гидроакустических помех целесообразно использовать модели нестационарных нелинейных негауссовских случайных процессов [1–3]. В [2] Р. Brockett, М. Hinich, G. Wilson по результатам исследования биспектров отмечают, что в океанских районах интенсивного судоходства для описания гидроакустического шума целесообразно использовать модель нелинейного негауссовского случайного процесса, даже если одномерное распределение мгновенных значений принимаемых сигналов не противоречит гауссовскому закону. В [2–8] рассмотрены подобные результаты и некоторые представления о различных временных масштабах, характерных для гидроакустических шумов, в том числе об их «локальной квазистационарности» на «небольших» интервалах времени.

Анализ спектрограмм наблюдаемых на практике сигналов позволяет сделать вывод, что для описания временной изменчивости свойств гидроакустических шумов в полосе частот до 1000 Гц на интервалах порядка нескольких секунд могут быть использованы модели случайных процессов авторегрессии (АР), скользящего среднего (СС) и обобщенная модель авторегрессии — скользящего среднего (АРСС), усредненные параметры которых зависят от времени.

Модель АРСС(M , N) описывается следующим известным выражением [3, 4]:

$$x(t) = - \sum_{m=1}^M a_m x(t - m\Delta t) + \sum_{n=0}^N b_n u(t - n\Delta t),$$

где $x(t)$ — моделируемый сигнал, $u(t)$ — белый шум, M — порядок составляющей авторегрессии, N — порядок составляющей скользящего среднего, $\Delta t = 1/f_s$, a_m и b_n — параметры авторегрессии и скользящего среднего соответственно.

Для стационарных случайных процессов параметры АР, СС и АРСС моделей являются постоянными, их точечные оценки, полученные из $x(t)$ — случайные величины с «относительно малой» дисперсией.

Для нестационарных процессов точечные оценки параметров АР, СС и АРСС моделей — зависящие от времени случайные величины с «существенно большей» дисперсией. Под областями «локальной квазистационарности» в дальнейшем будем понимать отрезки времени, на которых дисперсии параметров АР, СС и АРСС моделей уменьшаются на порядок и более.

*E-mail: GorovoySV@mail.ru

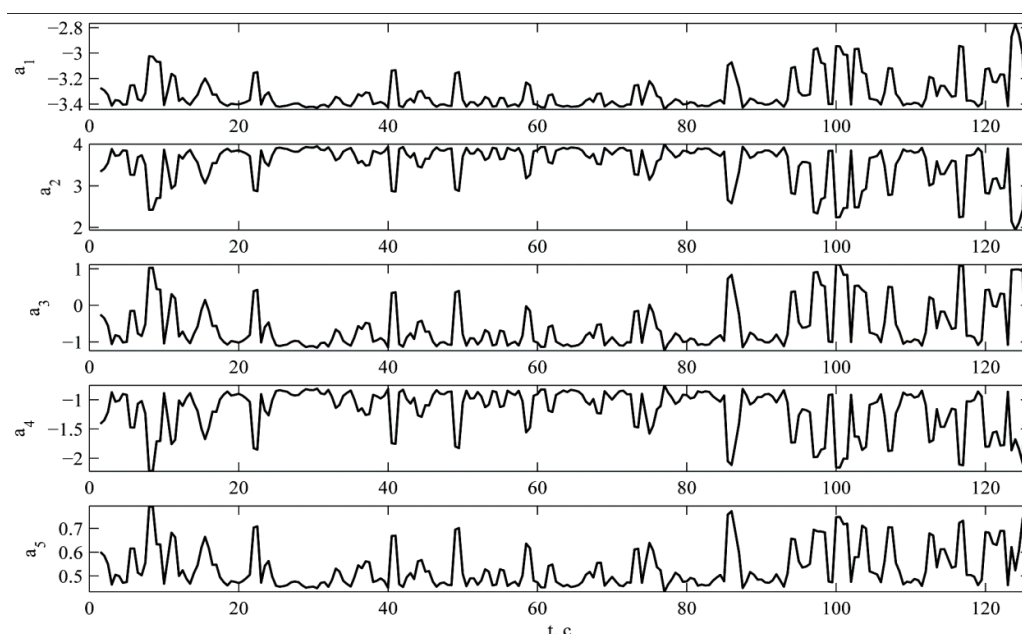


Рис. 1: Зависимость параметров AP(5) модели гидроакустического шума от времени

Времена усреднения при оценивании параметров AP, CC и APCC моделей выбираются исходя из предполагаемой длительности интервалов «локальной квазистационарности». Использование AP, CC и APCC моделей помехи, в том числе и с изменяющимися параметрами (в случае их применимости) позволяет в ряде случаев получить более лучшие вероятностные характеристики обнаружения сигналов по сравнению с традиционными методами (корреляционные и энергетические приемники), в которых в качестве модели помехи используется гауссовский случайный процесс [1–4], например, при многократном повторении сигнала, длительность которого не превышает длительности области «локальной квазистационарности». Для обоснованного использования таких моделей необходимо выполнение ряда требований [4, 5] которые в некотором начальном приближении можно считать выполненными.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проверка непротиворечия оценок одномерной и двумерной плотностей распределения вероятностей выборочных значений давления гидроакустических шумов в заливе Петра Великого Японского моря гауссову закону согласно критерию χ^2 при уровне значимости 0.05 не дала устойчивых положительных результатов [6, 7], что можно объяснить интенсивным движением и маневрированием судов. В [8] приведены результаты исследования корреляционных функций 3-го порядка (которые для гауссовского процесса должны быть равны нулю) для тех фрагментов записей гидроакустических шумов, для которых проверка непротиво-

речия оценок как одномерного, так и двумерного распределений вероятностей выборочных значений гауссову закону согласно критерию χ^2 при уровне значимости 0.05 дала положительные результаты. Отличие от нуля оценок корреляционных функций 3-го порядка свидетельствует о противоречии гауссовскому закону совместных трехмерных плотностей распределения.

Рассмотрим результаты исследования динамики изменения со временем параметров моделей AP и APCC для записи гидроакустического шума, зарегистрированного в заливе Петра Великого Японского моря вблизи акватории порта Владивосток с помощью одностороннего ненаправленного гидрофона, расположенного вблизи дна (песок, камни) на глубине 20 м на удалении порядка 200 м от берега в тихую безветренную погоду, когда состояние моря не превышало 2-х баллов. Полученные результаты можно считать типичными для района исследований при отсутствии на удалении до 2 миль движущихся или стоящих на якоре судов. Частота квантования f_s исследуемого сигнала после предварительной фильтрации и децимации составляла 22.05 кГц. Перед проведением анализа сигнал был пронормирован по уровню так, чтобы его среднее значение и среднеквадратическое отклонение от среднего стали равными 0 ± 10^{-12} и 1 ± 10^{-12} соответственно.

Далее приведены результаты исследования (точечное оценивание) зависимости от времени параметров моделей авторегрессии 5-го порядка — AP(5) и авторегрессии–скользящего среднего — APCC(3, 2) для одного из фрагментов вышеуказанной записи гидроакустического шума в полосе частот 200–1000 Гц, сформированной с помощью КИХ фильтра 1024 поряд-

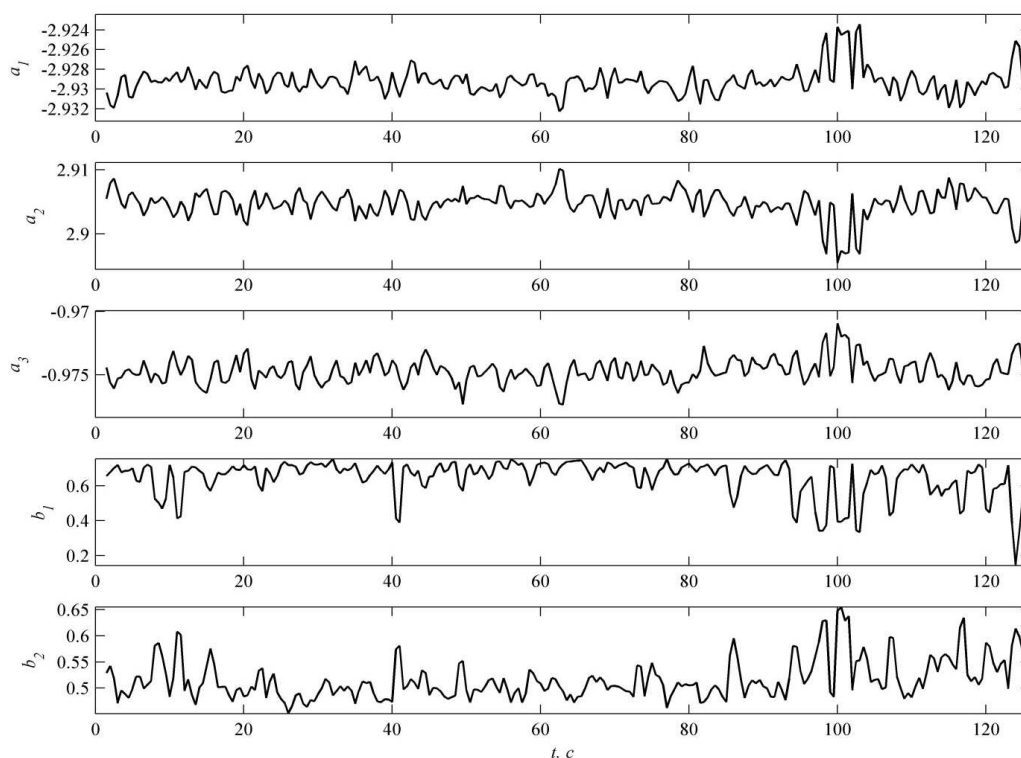


Рис. 2: Зависимость параметров АРСС(5,3) модели гидроакустического шума от времени

ка. Для данного фрагмента проверка непротиворечия оценок и одномерного и двумерного распределений вероятностей выборочных значений гауссову закону согласно критерию χ^2 при уровне значимости 0.05 дала положительный результат. На основе анализа спектрограмм и применительно к задачам приема сигналов длительностью 0.1–1 с параметры моделей усреднялись на последовательных интервалах времени длительностью 1 с, перекрывающихся на 0.5 с. Для расчета параметров АР модели был использован метод Берга, для расчета параметров АРСС модели был использован итерационный метод [4], расчеты выполнялись в среде Матлаб (лицензия ДВФУ).

На рис. 1 и рис. 2 показаны зависимости параметров АР(5) и АРСС(3,2) моделей гидроакустического шума от времени. Они имеют вид «шумовых дорожек» с большим количеством однополярных выбросов длительностью порядка 2 с.

На рис. 3 для сравнения показаны зависимости от времени параметров АР(5) программной модели полосового белого шума, сформированного с использованием функции *wgn* Матлаб и вышеназванного КИХ фильтра, имеющие вид «шумовых дорожек», симметричных относительно среднего уровня.

Выборочные математические ожидания параметров a_1 – a_5 модели АР(5) для данного фрагмента гидроакустического шума составляют $-3.32, 3.54, -0.58, -1.17, 0.535$, а для фрагмента модельного белого шума составляют $-2.75, 1.98, 0.75, -1.4, 0.42$ соответственно.

Таким образом, за исключением параметра a_3 различия в выборочных математических ожиданиях параметров модели АР(5) данных шумовых сигналов не превышают 50%.

Выборочные дисперсии оценок параметров a_1 – a_5 модели АР(5) для данного фрагмента гидроакустического шума составляют 0.017, 0.21, 0.38, 0.14, 0.007, а для фрагмента модельного белого шума составляют 0.0002, 0.0009, 0.0003, 0.0009, 0.0002. Таким образом, выборочные дисперсии оценок параметров модели АР(5) для данного фрагмента гидроакустического шума превышают дисперсии параметров модельного шума на два порядка и более. В меньшей степени аналогичные соотношения наблюдаются и для параметров АРСС(3,2) моделей гидроакустического шума и модельного белого шума.

В качестве интервалов «локальной квазистационарности» гидроакустического шума (в вышеуказанном смысле), на которых зависимость от времени параметров моделей АР(5) и АРСС(3,2) ослабевает и их дисперсии уменьшаются на рис. 1 могут быть рассмотрены интервалы 25–30 с, 63–67 с, 107–112 с длительностью 3–5 с, следующие друг за другом ориентировочно через 30 с. При уменьшении ширины полосы частот данные области «локальной квазистационарности» расширяются и появляются новые, величины выбросов уменьшаются вследствие влияния эффекта нормализации и «сглаживания» случайных процессов при сужении полосы частот.

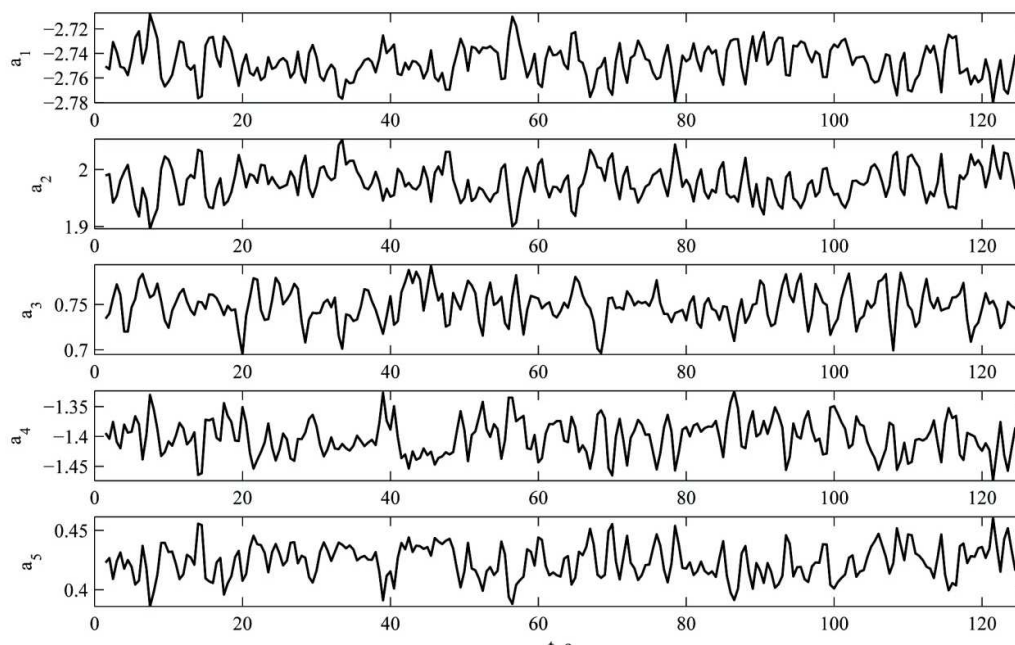


Рис. 3: Зависимость параметров AR(5) программной модели белого шума от времени

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В исследованной записи гидроакустического шума выборочные дисперсии параметров AR(5) и ARСС(3,2) моделей превышают выборочные дисперсии этих параметров модельного полосового белого шума на два порядка и более.
2. В полосе частот 200—1000 Гц через нерегулярные промежутки времени порядка 30 с в исследованной записи гидроакустического шума наблюдаются области «локальной квазистационарности» длительностью порядка 3—5 с, в которых дисперсии параметров AR(5) модели уменьшаются на порядок и более.
3. При уменьшении ширины полосы частот данные области «локальной квазистационарности» расширяются и появляются новые, величины выбросов параметров уменьшаются вследствие влияния эффекта нормализации и «сглаживания» случайных процессов при сужении полосы частот.
4. Полученные результаты можно считать типичными для данной акватории при отсутствии на удалении до 2-х миль движущихся или стоящих на якорю судов и использовать для построения территориально и временно-адаптированных алгоритмов обнаружения сигналов.

-
- [1] Kay S.M. Fundamentals of Statistical Signal Processing. 2. Prentice Hall, 2013.
 - [2] Wegman E.J., Schwartz S.C., Thomas J.B. (Editors). Topics in Non-Gaussian Signal Processing. Springer-Verlag, 1989.
 - [3] Phlug L.A., Ioup G.E., Ioup J.W. The Effects of Ambient Shipping Noise on the Performance of Single and Multiple Channel Moment Detectors for Unknown Transient Signals. Naval Research Laboratory NRL/FR/7173-97-9678, 1998.
 - [4] Stoica P. Moses R.L. Spectral Analysis of Signals. Prentice Hall, 2005.
 - [5] Бриллинджер Д. Временные ряды. Обработка данных и теория. М.: Мир, 1980
 - [6] Gorovoy S.V., Kiryanov A.V., Zheldak E.M.

Characteristics of underwater noise near the west roadstead of the port of Vladivostok. 5th Pacific Rim Underwater Acoustics Conference Vladivostok, Russia 23–26 September, 2015.

- [7] Горовой С.В. Экспериментальное оценивание образов одномерных и двумерных плотностей распределения флуктуаций средней мощности гидроакустических шумов вблизи акватории порта Владивосток. Материалы шестой Всероссийской научно-технической конференции «Технические проблемы освоения мирового океана». 28 сентября–2 октября 2015 г. Владивосток, 2015. С. 304.
- [8] Горовой С.В. Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 9 (146) С. 69.

Some results of research of temporal variability of hydroacoustic noise in the Peter the Great Gulf of the Sea of Japan

S. V. Gorovoy

*Department of Instruments, Far Eastern Federal University, Vladivostok 690650, Russia
E-mail: GorovoySV@mail.ru*

The report describes the results of a study of temporal variability of AR and APMA models hydroacoustic noise at time intervals up to two minutes, registered using a single non-directional hydrophone in calm weather in the shallow zone near the port of Vladivostok. The report describes the dependences of AR(5) and ARMA(3,2) models from time. Results can be considered typical for the water area when no moving or at anchor vessels. The report summarizes the results of comparison of temporal variability of parameters for the AR(5) and ARMA(3,2) hydroacoustic noise models and the software-implemented model of white noise.

PACS: 43.30.+m, 43.60.-c

Keywords: signal processing, hydroacoustic noise, models of random processes.

Received 26 July 2017.

Сведения об авторе

Горовой Сергей Владимирович — доцент кафедры приборостроения; e-mail: GorovoySV@mail.ru.
