

ВЫДЕЛЕНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ НАЛИЧИИ РЕВЕРБЕРАЦИИ**Бабуров Э.Ф., Квитко Д.А., Горшков А.Л.**

Рассмотрена возможность выделения гидроакустических сигналов, обладающих доплеровским сдвигом, программными методами в условиях действия развитой реверберации.

Кроме шумов моря различного происхождения в нем действует и так называемая помеха реверберации, которая чаще всего является основной помехой при приеме отраженных ультразвуковых зондирующих сигналов [1,2].

Статистическая спектральная плотность мощности реверберации $N_p(\omega)$ согласно теоретическим и экспериментальным исследованиям при излучении сигналов детерминированного типа пропорциональна квадрату их амплитудного спектра $|S(\omega)|^2$ [2,3], т.е.

$$N_p(\omega) = 2\bar{n}_1 \overline{a^2} |S(\omega)|^2, \quad (1)$$

где $\bar{n}_1$ – среднее число элементарных рассеянных сигналов, приходящих в точку приема в единицу времени, $\overline{a^2}$ – среднее значение квадрата амплитуды элементарных сигналов. Таким образом, спектральная плотность мощности излучаемого сигнала $G(\omega)$ и реверберационной помехи $N_p(\omega)$ согласно формуле (1) пропорциональны. Это обстоятельство существенно затрудняет выделение на фоне реверберации сигналов, отраженных от обнаруживаемых объектов. Большинство существующих методов борьбы с реверберацией имеют аппаратную реализацию.

Представляет интерес рассмотреть возможность совмещения аппаратных и программных методов обработки таких сигналов. При этом могут быть использованы компьютеры специализированные или общего назначения, позволяющие индицировать гидролокационную обстановку на экране монитора.

Реверберация представляет собой нестационарный процесс, образующийся в результате сложения множества сигналов, отраженных от нестационарностей среды при прохождении в ней зондирующего сигнала. Попадая на вход приемника, полезный сигнал u_c и реверберации u_p образуют аддитивную смесь

$$u_{BX}(t) = u_c(t) + u_p(t). \quad (2)$$

В простейшем частном случае $u_c(t) = U_{mc} \cos \omega_0 t$. Помеха реверберации, пройдя через избирательную входную цепь приемника, представляет собой квазигармонический сигнал

$$u_p(t) = U_{mp}(t) \cos[\omega_0 t + \varphi(t)], \quad (3)$$

где амплитуда $U_{mp}(t)$ является результатом суммирования множества эхо-сигналов со случайной фазой.

Сигнал (3) может быть представлен в комплексной форме

$$\dot{u}_p(t) = u_p(t) + \hat{u}_p(t) = U_{mp}(t) e^{j\psi(t)}, \quad (4)$$

где $u_p(t)$ и $\hat{u}_p(t)$ – функции, сопряженные по Гильберту, $\psi(t)$ – полная мгновенная фаза реверберации.

Угловая скорость вращения вектора амплитуды комплексного сигнала (4), как показано на рисунке 1, в общем случае неравномерна. Мгновенная частота колебания принимаемого сигнала определяется с учетом доплеровского сдвига и приращения частоты за счет неравномерности вращения результирующего вектора, обусловленной действием реверберации.

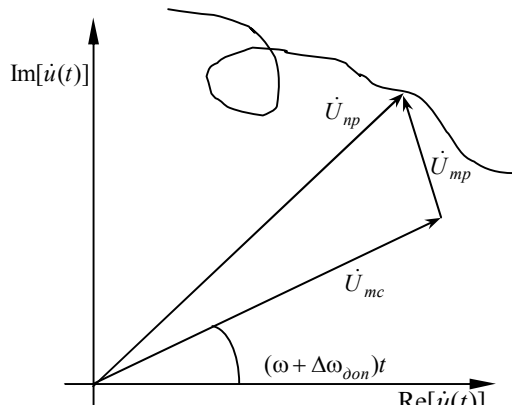


Рисунок 1 – Характеристика изменения вектора принимаемого сигнала

В силу соотношений (1) и (2) частоты спектральных составляющих реверберации и зондирующих сигналов совпадают. При наличии доплеровского сдвига принимаемой частоты $\Delta\omega_{don}$ полезный сигнал отличается по частоте от реверберации на величину этого сдвига.

В итоге происходит качание результирующего вектора принимаемого сигнала $\dot{U}_{np}$, приводящее к паразитным амплитудной и частотной модуляциям. В общем случае частота принимаемого сигнала определяется результирующей угловой скоростью вращения этого вектора

$$\omega_{np} = \omega_0 + \Delta\omega_{don} + \Delta\omega_p, \quad (5)$$

где $\Delta\omega_p$ – изменение частоты принимаемого сигнала из-за действия реверберации.

Выделение сигналов с доплеровским сдвигом на фоне реверберации путем использования избирательных фильтров высокого порядка представляет собой достаточно сложную техническую задачу. Особенно задача усложняется с уменьшением сдвига.

Программная обработка принимаемого сигнала требует представления его в цифровой форме. Частота дискретизации принимаемого гидроакустического сигнала, пораженного помехой реверберации, в соответствии с теоремой В.А. Котельникова должна быть

$$f \geq 2F_{np}, \quad (6)$$

где $F_{np} = \omega_{np}/2\pi$. Значения произведенных выборок сигнала заполняют динамический массив, содержание которого обновляется каждый раз с приходом нового эхосигнала. При этом всякий раз должно быть определено значение мгновенной частоты F_{np} . Решается эта задача путем поиска двух пар ближайших выборок с противоположными положительными и отрицательными знаками. Используя линейную аппроксимацию между значениями каждой из указанных пар выборок, как показано на рисунке 2, находим точки пересечения n_1 и n_2 с условной нулевой осью абсцисс. В результате получаем мгновенную частоту принимаемого сигнала

$$F_{np} = f/2(n_2 - n_1), \quad (7)$$

где n_1 и n_2 – номера ближайших ячеек массива, значения которых имеют противоположные знаки.

Рассматриваемая задача выделения гидроакустических сигналов на фоне реверберации может быть достаточно четко разграничена на две отдельные задачи со своими характерными особенностями – это выделение сигналов от подвижных и неподвижных объектов.

Измерение доплеровского сдвига частоты принимаемого сигнала, отраженного от подвижного объекта, скорость которого относительно приемника много меньше скорости распространения звука в воде $v \ll c$, позволяет определить скорость самого объекта

$$v = \frac{(F_0 - F_{np})c}{F_0 \cos \theta}, \quad (8)$$

где F_0, F_{np} – частоты излучаемого и принимаемого сигналов; $c = 1500$ м/с – скорость звука в воде; θ – угол между вектором $\vec{v}$ и направлением распространения акустических волн (волновым вектором).

Искажение формы принимаемого гармонического сигнала, показанного на рисунке 2, вызванное реверберацией, может внести ошибку в определение частоты выражениями (6) и искажение и определение частоты подтверждают исследования, сравнительно малых

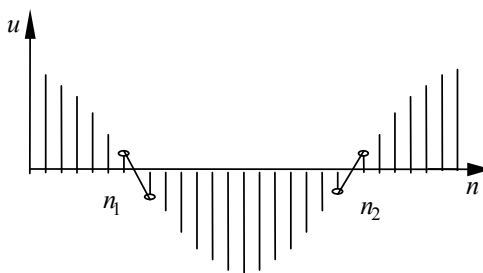
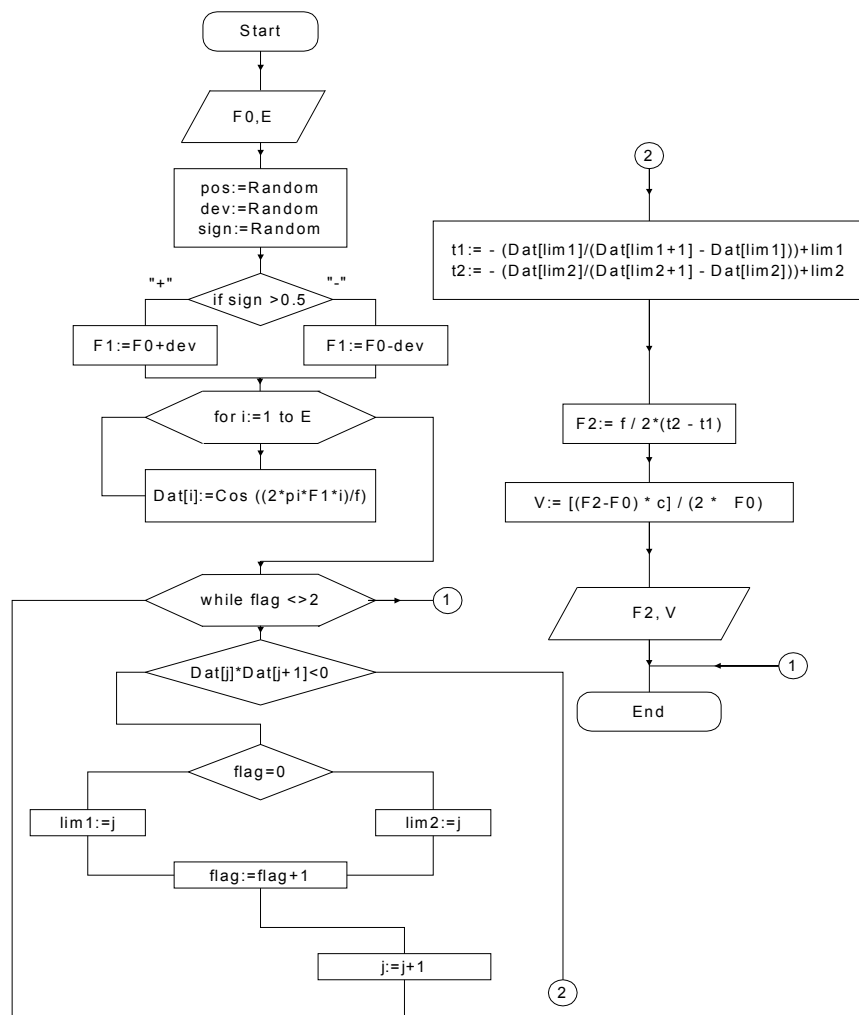


Рисунок 2 – Дискретизация принимаемого сигнала

действием помехи внести ошибку в соответствии с (7). Однако указанное появление ошибки при принимаемого сигнала, как экспериментальные наблюдения только при доплеровских сдвигах

$\Delta\omega_{don} \leq \Delta\omega_p$, входящих в соотношение (5). С увеличением доплеровского сдвига начинает выполняться условие (7) для гармонического сигнала и частота его при наличии реверберации определяется без использования каких бы то ни было фильтров.

Блок схема алгоритма, предназначенного для выделения сигналов, отраженных



от движущегося объекта, на фоне реверберационной помехи с учетом эффекта Доплера (8) изображена на рисунке 3. Используя генератор случайных чисел *Random*, присваивают случайным переменным *pos*, *dev* и *sign* случайные значения соответствующего диапазона. Переменная *pos* – это весь диапазон возможных положений принятого эхосигнала во времени; переменная *dev* – диапазон от 0 до максимально возможного значения отклонения частоты принятого эхосигнала относительно частоты зондирующего импульса; переменная *sign* предназначена для имитации знака отклонения частоты принятого эхо-сигнала. Значение переменной *sign*, изменяющееся от 0 до 1, сравнивается с 0,5, в случае, если $sign > 0,5$ приращение получает положительный знак, если нет, – отрицательный. Зная знак и значение приращения, отмечаем частоту эхосигнала, а переменная *pos* содержит информацию о его временном положении. В соответствии с этой информацией заполняется массив значений принятого эхо-сигнала. На этом процесс обработки заканчивается, и далее принятая информация обрабатывается согласно вышеописанному методу.

Предложенная обработка принимаемых гидроакустических сигналов имеет неоспоримое преимущество по сравнению с традиционными аппаратными методами, выражающееся в её достаточно хорошей эффективности при очевидной простоте. За исключением каких-либо специальных задач рекомендуется использовать два выше представленных метода совместно.

Библиография

- 1 Матвиенко В.Н. Дальность действия гидроакустических средств / В.Н. Матвиенко, Ю.В. Тарасюк. — Л.: Судостроение, 1981. — 205 с.
- 2 Ольшевский В.В. Статистические методы в гидролокации / В.В. Ольшевский. — Л.: Судостроение, 1983. — 250 с.
- 3 Middleton D. A Statistical Theory of reverberation and Similar First-Order Scatter Fields, Part 1: Waveforms and the General Process/ D. Middleton // IEEE Trans. Information Theory. — 1967. — V. 13. — P. 372 – 392.

Поступила в редакцию 04.12.2001 г.