

ВРЕМЕННЫЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕВЕРБЕРАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ В ГИДРОЛОКАТОРАХ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Чан Тай Чонг

Гейстер С.Р. – д-р. техн. наук, проф.

В докладе рассмотрено явление морской реверберации, ее классификация. Приведена временная структура реверберации. Спектральная структура получена прямым преобразованием Фурье корреляционной функции реверберации.

В радиолокации обнаружение и измерение параметров отраженного сигнала (ОС) затрудняется наличием шумов и мешающих отражений. Аналогично, в гидролокации также существуют мешающие отражения, которые называются реверберацией.

При распространении звука в море происходит его частичное рассеяние на различных неоднородностях среды и неровностях ее границ [1]. Рассеяние звука могут вызывать воздушные пузырьки, рыбы, морские животные, микроорганизмы, твердые частицы, температурные неоднородности, неровности морской поверхности и дна, неоднородности состава грунта и т. д.

Классификация реверберации

Существуют три вида реверберации:

объемная реверберация, обусловленная рассеянием на неоднородностях самой морской среды. Такими неоднородностями являются, например, микроорганизмы, рыбы, температурные неоднородности и т. д;

поверхностная реверберация, созданная рассеивателями, содержащимися в приповерхностном водном слое или на самой поверхности моря.

донная реверберация, обусловленная рассеянием на неоднородностях морского грунта и неровностях его поверхности.

При анализе двух последних форм реверберации можно рассматривать их как одну, поверхностную, поскольку и той и другой присуще двумерное распределение рассеивателей. Однако у них есть и существенное отличие – поверхностная реверберация является динамичным процессом, существенно изменяющим свои параметры при изменении волнения водной поверхности.

Временные и спектральные характеристики реверберации

Реверберация создается в результате отражения зондирующего сигнала (ЗС) от всех неоднородностей, находящихся в пространстве распространения акустической волны. Как и мешающие отражения в радиолокации, реверберация является наложением нерегулярно возникающих элементарных сигналов стандартной формой со случайной амплитудой и фазой и поэтому представляет собой случайный процесс с нормальным распределением вероятности мгновенных значений.

Разобъем объем пространства в пределах диаграммы направленности, занятый элементарными отражателями, на ряд участков с равноудаленными от лоатора рассеивающими частицами. Задержка сигнала, отраженного от некоторого χ -го участка, составляет: $t_{r\chi} = r_{\Sigma} / c_v(\psi)$, где ψ - вектор параметров среды; $c_v(\psi)$ - скорость распространения волны в воде, зависящая от параметры среды; r_{Σ} - сумма расстояний, которые проходят ЗС от передающей антенны гидролокатора (ГЛ) до χ -го участка r_{zs} и ОС от χ -го участка до приемной антенны r_{or} , [м]. Структура сигнала, отраженного от совокупности элементарных отражателей, принадлежащих χ -му участку, может быть представлена в следующем виде:

$$n_{\chi}(t) = E_{\chi}(t) U_L(t - t_{r\chi}) e^{i[(\omega_0 + \Omega_{dn})t + \varphi_{\chi}(t)]} = N_{\chi}(t) U_L(t - t_{r\chi}) e^{i(\omega_0 + \Omega_{dn})t},$$

где L - число одиночных сигналов, участвующих в анализе одного элемента разрешения пространства наблюдения; $E_{\chi}(t)$, $\varphi_{\chi}(t)$ - случайная амплитуда и фаза сигнала, отраженного от χ -го участка; Ω_{dn} - доплеровское смещение круговой частоты, обусловленное регулярным перемещением лоатора относительно от всех отражателей с радиальной скоростью V_t , [рад/с]; $U_L(t - t_{r\chi}) = U(t)A(t - t_A)$ - закон модуляции (ЗМ) ограниченной последовательности одиночного сигнала; $A(t)$ - огибающая пачки ОС с эффективной длительностью T_A , определяющей время анализа одного элемента разрешения пространства наблюдения:

$$T_A^{-1} = t_{\Delta r}^{-1} + t_{\Delta V}^{-1} + t_{\Delta \beta}^{-1} + t_{\Delta \varepsilon}^{-1},$$

где $t_{\Delta r}$, $t_{\Delta V}$, $t_{\Delta \beta}$ и $t_{\Delta \varepsilon}$ - время анализа одного элемента разрешения по дальности, по скорости, по азимуту и по углу места, [с]; t_A - момент анализа элемента разрешения по отношению к начала цикла, [с].

Просуммировав последовательно сигналы от всех χ -ых участков по всей радиальной протяженности области, занятой отражателями, получим математическую модель реверберации:

$$n(t) = \sum_{\chi} n_{\chi}(t) = N(t) e^{i(\omega_0 + \Omega_{dn})t},$$

где $N(t) = \sum_{\chi} N_{\chi}(t) U_L(t - t_{r\chi}) = E_n(t) e^{i\varphi_n(t)}$ - комплексная огибающая модели реверберации.

Корреляционная функция (КФ) реверберации определяется следующим выражением

$$R_n(\tau) = \frac{1}{LT_0} \int_{-\infty}^{\infty} n(t) n^*(t - \tau) dt = 2\sigma_n^2 r_n(\tau) C_L(\tau) e^{i(\omega_0 + \Omega_{dn})\tau} = 2\sigma_n^2 r_{Ln}(\tau) \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_0(\tau - nT_n) e^{i(\omega_0 + \Omega_{dn})\tau},$$

где σ_n^2 - средняя мощность реверберации, $[Bm]$; $C_L(\tau) = r_L(\tau) \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_0(\tau - nT_n)$ - нормированная КФ ЗМ

ограниченной последовательности одиночных сигналов; $r_{Ln}(\tau) = r_L(\tau) r_n(\tau)$ - междупериодная корреляционная функция; $r_L(\tau)$ - нормированная КФ огибающей пачки L одиночных сигналов; $C_0(\tau)$ - корреляционная функция ЗМ одиночного импульса; $r_n(\tau)$ - нормированная КФ флуктуаций, которая характеризует временную структуру амплитудных и фазовых флуктуаций сигналов от совокупностей равноудаленных от ГЛ элементарных отражателей любого χ -го участка.

Энергетический спектр (ЭС) реверберации характеризует распределение мощности по частотам и связан с КФ прямым преобразованием Фурье:

$$S_n(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_n(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau = 2\sigma_n^2 S_{Ln}[(\omega - \omega_0 - \Omega_{dn})T_n] S_0(\omega - \omega_0 - \Omega_{dn}),$$

где $S_0(\omega)$ - ЭС ЗМ одиночного импульса; $S_{Ln}(\omega T_n)$ - ЭС ограниченной последовательности междупериодных дискретных значений сигналов, отраженных от неоднородностей и описывается выражением:

$$S_{Ln}(\omega T_n) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} r_{Ln}(nT_n) e^{-i\omega nT_n} = \frac{1}{T_n} \sum_{n=-\infty}^{\infty} S_{Ln}\left(\omega - k \frac{2\pi}{T_n}\right).$$

Таким образом, ЭС реверберации является гребенчатым, а его огибающая определяется ЭС ЗМ одиночного зондирующего импульса. Ширина зубцов определяется суммой отдельных составляющих:

$$\Delta F_{Ln} = \Delta f_n + 1/T_H, \text{ где } \Delta f_n = \frac{1}{2\tau_n}, \tau_n = \int_0^{\infty} r_n(\tau) d\tau - \text{ время коррекции флуктуаций, } [c]; T_H - \text{ время наблюдения, } [c],$$

причем $T_H^{-1} = T_{zon}^{-1} + T_A^{-1}$, а T_{zon} - время зондирования, $[c]$.

Определение средней мощности реверберации без учета затухания

Объемная реверберация. Мощность сигнала, отраженного от χ -го участка объемно распределенных отражателей, определяется выражением:

$$\sigma_n^2 = P_0 G_{Tr} K_{P-Tr} G_{Rc} K_{P-Rc} \lambda^2 \sigma_{\chi V} / \left((4\pi)^3 r_{ot}^2 \right), [Bm],$$

где P_0 - мощность ЗС, $[Bm]$; G_{Tr} , G_{Rc} - коэффициент усиления передающей и приемной антенн; K_{P-Tr} - коэффициент преобразования мощности электрического сигнала в мощность акустического поля; K_{P-Rc} - коэффициент преобразования мощности акустического поля в мощность электрического сигнала; λ - длина волны ЗС, $[m]$; $\sigma_{\chi V}$ - эффективная отражающая поверхность (ЭОП) χ -го участка объемно распределенных отражателей на расстоянии r_t от ГЛ: $\sigma_{\chi V} = \sigma_{udV} \Delta V$, где σ_{udV} - удельная ЭОП объемно распределенных отражателей, зависящая от свойства поверхности отражателей, $[m^2 / m^3]$; ΔV - разрешаемый объем, который при условии узкого лепестка диаграммы направленности антенны ГЛ определяется выражением

$$\Delta V = (c_v(\Psi) T_0 / 2) r_t \Delta\beta \Delta\varepsilon,$$

где $(c_v(\Psi) T_0 / 2)$ - определяет как радиальную протяженность участка, $[m]$, T_0 - длительность одиночного сигнала, $[c]$; $\Delta\beta$, $\Delta\varepsilon$ - разрешающая способность по азимуту и углу места. Будем полагать, что $r_{zc} = r_{ot} = r_t$. Тогда

$$\sigma_n^2 = P_0 G_{Tr} K_{P-Tr} G_{Rc} K_{P-Rc} \lambda^2 \sigma_{udV} c_v(\Psi) T_0 \Delta\beta \Delta\varepsilon / 2 \left((4\pi)^3 r_t^2 \right), [Bm].$$

Для поверхностная реверберация (отражения от поверхности моря и дна):

$$\sigma_n^2 = P_0 G_{Tr} K_{P-Tr} G_{Rc} K_{P-Rc} \lambda^2 \sigma_{udS} c_v(\Psi) T_0 \Delta\beta / 2 \left((4\pi)^3 r_t^3 \right), [Bm],$$

где σ_{udS} - удельная ЭОП поверхностно распределенных отражателей, $[m^2 / m^2]$;

Список использованных источников:

1. Ольшевский В.В. Статистические свойства морской реверберации. - М.: Наука, 1966. - 198с.
2. Охрименко А.Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. - М.: Воениздат, 1983. - 456с.
3. Яковлев А. Н., Каблов Г. П. Гидролокаторы ближнего действия. - Л.: Судостроение, 1983. - 199 с.