

УДК 621.391.82

А.Д. Плужников, Е.Н. Приблудова

**УСКОРЕНИЕ ГИДРОЛОКАЦИОННОГО ОБЗОРА
ПРИ ДЕЙСТВИИ МЕШАЮЩИХ РЕВЕРБЕРАЦИЙ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Показано, что ускоренное сканирование обеспечивает пространственное разрешение гидролокационных сигналов по дальности (в частности, при совпадении угловых координат объектов-переизлучателей) и пространственное подавление мешающих ревербераций.

Ключевые слова: малая скважность, сканирование по угловой координате, пассивные помехи, пространственно-временные сигналы, селекция сигналов на фоне помех, дальностно-угловая конверсия, постоянная Вудворда, апертура антенны, диаграмма направленности.

При исследованиях гидрофизических характеристик водной толщи океана посредством активной акустической локации чрезвычайно малые значения силы цели звукорассеивающих слоев и ограничения на пиковую мощность излучения обуславливают необходимость увеличения энергии зондирующих сигналов путем уменьшения их скважности. По аналогичным причинам необходимость уменьшения скважности зондирующих сигналов возникает при использовании акустической локации для решения задач морской картографии, когда поиск путей повышения производительности средств извлечения и обработки информации о природных подводных объектах (участках морского дна) приводит к необходимости их обнаружения и обследования на максимально возможных дальностях. Та же необходимость возникает и при гидролокационном обнаружении, а также идентификации подводных объектов искусственного происхождения. Среди таковых можно назвать, в частности, затонувшие объекты с экологически вредным содержанием (например, затонувшие контейнеры с отравляющими веществами, объекты с радиоактивными материалами).

Во всех указанных случаях уменьшение скважности зондирования ведет к тому, что слабые полезные сигналы (реверберации) от максимально удаленных рассеивающих слоев или подводных объектов действуют на судовую приемную аппаратуру одновременно с мощными пассивными помехами (мешающими реверберациями) от близко расположенных (на малых глубинах или малых наклонных дальностях) звукорассеивающих слоев водной толщи или участков морского дна. В итоге падает отношение сигнал-помеха на входе средств обработки гидроакустических сигналов, что препятствует достижению целей, преследуемых при уменьшении скважности зондирования.

В рассматриваемых условиях желательно было бы осуществить подавление мешающих ревербераций посредством пространственной обработки сигналов (с помощью приемной антенны). Однако такое подавление не осуществимо при отсутствии принципиальных возможностей пространственного разрешения ревербераций, возникающих на различных дальностях. Причем известная теория [1] не упоминает о подобных возможностях применительно к однопозиционным системам и в качестве единственного пути пространственного подавления пассивных помех предлагает расширение апертуры и сужение диаграммы направленности (ДН).

В итоге развития теории разрешения пространственно-временных сигналов традиционно формулируется, например, следующий вывод, обусловленный влиянием качества разрешения на эффективность селекции полезных сигналов, маскируемых пассивными помехами [1]: в случае равномерного пространственного распределения большого числа мешающих отражателей с широким разбросом их радиальных скоростей (делающим невозможным доп-

леровскую селекцию полезных сигналов) единственным средством борьбы с пассивными помехами является увеличение апертуры антенны (сужение ДН, т.е. уменьшение элемента разрешения, благодаря чему понижается мощность пассивных помех). Вместе с тем, согласно результатам [2, 3], возможно дополнительное пространственное (реализуемой антенной) подавление пассивных помех за счет увеличения скорости сканирования (обзора по угловой координате). Причем такое подавление, как и требуется, основано на различиях дальностей до мешающих отражателей и объекта, подлежащего обнаружению и наблюдению. Противоречие упомянутых результатов [1] и [2, 3] является кажущимся и обусловлено тем, что известная теория [1] разработана без учета сканирования. Далее приведены итоги ее развития и обобщения на режим сканирования. В частности, описаны новые возможности разрешения ревербераций и селекции сигналов с малой скважностью на фоне пассивных помех.

Согласно рекомендациям [4], рассмотрим линейную антенную систему, размещенную в плоскости обзора (α, R) , который реализуется благодаря вращению системы в этой плоскости со скоростью Ω , рад/с вокруг своего фазового центра. Здесь α - угловая координата, R - радиальная координата (дальность), отсчитываемая от центра вращения. Начала отсчета текущего времени t и угла α выбираем так, чтобы значение Ωt данного угла определяло нормаль к раскрытию приемной антенны, перемещающуюся в плоскости обзора вследствие вращения антенны. Режим излучения локатора зададим рабочей длиной волны λ , нормированной комплексной огибающей $v(t)$ зондирующего сигнала и нормированной ДН на излучение $G_{b0}\{\varepsilon\}$ с главным максимумом на направлении $\varepsilon = \varepsilon_{b0}$, где $\varepsilon = \alpha - \Omega t$ - угол, отсчитываемый в плоскости обзора от упомянутой нормали. Предположим, что x - координата вдоль раскрытия приемной антенны с апертурой Π и значение $x = 0$ соответствует середине раскрытия (фазовому центру антенны).

Совокупность подходов [1] и [2, 5] позволяет определить пространственно-временной сигнал (значение комплексной огибающей напряженности поля в точке с координатой x в момент t), переизлученный объектом с координатами $\alpha + \dot{\alpha}t$ и $R + \dot{R}t$, а также со скоростями $\dot{\alpha}$ и \dot{R} углового и радиального перемещений, соотношением

$$\begin{aligned}
 y_x(t) &= \mu' w(x) (R + \dot{R}t)^{-1} R_x^{-1} v\left(t - \frac{R + \dot{R}t + R_x}{c}\right) G_{b0}\left\{\left(\alpha + \dot{\alpha}t\right) - \right. \\
 &\quad \left. - \Omega\left(t - \frac{R + \dot{R}t + R_x}{c}\right)\right\} \exp\left\{-j2\pi \frac{R + \dot{R}t + R_x}{\lambda}\right\} \approx \\
 &\approx \mu'' R^{-2} w(x) \exp(j\omega t) v(t - t_R) G_{b0}\{\alpha - \Omega(t - t_R)\} \exp\left\{j2\pi \frac{x}{\lambda} (\alpha - \Omega t)\right\}, \quad (1)
 \end{aligned}$$

где модуль правой части максимизируется в момент

$$t = t_{\max} \approx t_R + (\alpha - \varepsilon_{b0}) / \Omega; \quad (2)$$

$$t_R = 2R / c; \quad (3)$$

μ' и μ'' - комплексные константы; $w(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } |x| \leq \Pi/2, \\ 0 & \text{при } |x| > \Pi/2; \end{cases}$

R_x - расстояние от переизлучающего объекта до точки раскрытия с координатой x ; c - ско-

рость распространения акустической волны; $j = \sqrt{-1}$, $\pi = 3,14\dots$, $\omega = -4\pi\dot{R}/\lambda$ - доплеровское смещение частоты.

Последний экспоненциальный множитель (1) с учетом (2) и (3) показывает, что сканирование (при $\Omega \neq 0$) обеспечивает дальностно-угловую конверсию, т.е. преобразование дальностных различий объектов в такие пространственные различия переизлученных сигналов, какие в отсутствие сканирования возникли бы лишь вследствие различий угловых координат объектов. Благодаря этому эффекту, не отмечавшемуся в известных работах, появляется возможность пространственного (основанного на различиях фазовых распределений поля по раскрытию антенны) разрешения сигналов, переизлученных с различных дальностей, даже при совпадении угловых координат объектов - переизлучателей. Заметим, что к аналогичным результатам приводит и анализ электронного сканирования при определении пространственно-временного сигнала, соответствующего выходам управляемых приемных фазовращателей антенной решетки.

Количественную характеристику выявленного ранее пространственного разрешения по дальности определим, обобщая на данный случай понятие постоянной разрешения Вудворда [5]:

$$\delta = \int_{-\infty}^{+\infty} |\chi_0(0, t'_R, 0)|^2 dt'_R, \quad (4)$$

где интегрируется сечение тела, ограниченного в 4-мерном гиперпространстве квадратом модуля нормированной обобщенной [1] пространственно-временной функции корреляции

$$\chi_0(\alpha', t'_R, \omega') = \frac{\chi(\alpha', t'_R, \omega')}{\chi(0, 0, 0)}, \quad (5)$$

$$\chi(\alpha', t'_R, \omega') = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} y_x^*(t+t') y_x^0(t) dx dt, \quad (6)$$

где * - знак комплексного сопряжения; опорный сигнал

$$y_x^0(t) = y_x(t) \Big|_{\text{при } \alpha=\alpha^0, R=R^0, \omega=\omega^0}, \quad (7)$$

$$\alpha' = \alpha - \alpha^0, t'_R = t_R - t_R^0, \omega' = \omega - \omega^0, t_R^0 = 2R^0/c; \quad (8)$$

t' выбирается так, чтобы обеспечить временное совмещение пространственно-временных сигналов - сомножителей подынтегрального выражения (6), после чего их разрешение при $\alpha' = 0$ и $\omega' = 0$ реализуется лишь благодаря упомянутой дальностно-угловой конверсии. При сделанных допущениях соотношения (1)-(8) позволяют найти

$$\delta = \lambda \Pi^{-1} \Omega^{-1} \approx \theta_w \Omega^{-1}, \quad (9)$$

где $\theta_w \approx \lambda \Pi^{-1}$ - ширина приемной ДН.

Для решения возникающей при малой скважности зондирования (см. ранее) или при непрерывном излучении задачи пространственной селекции сигнала с дальности R_s в усло-

виях временного наложения на него пассивных помех с дальностями $R \ll R_s$ целесообразно потребовать

$$\delta \leq t_s = 2R_s / c. \quad (10)$$

Тогда из (9) следует необходимость повышенной скорости обзора, при которой

$$\Omega t_s \geq \theta, \quad (11)$$

т.е. угол смещения сканирующей ДН за время запаздывания сигнала превышает ширину ДН. Физический смысл такого результата пояснен в [2].

Таким образом, ускорение обзора по угловой координате обеспечивает дальностно-угловую конверсию, при которой реализуется пространственное разрешение сигналов, переизлученных с различных дальностей, даже при совпадении угловых координат объектов - переизлучателей, а также селекцию сигналов на фоне мешающих ревербераций при малой скважности зондирования или при непрерывном излучении. Согласно (9)–(11), качество пространственного разрешения и селекции сигналов на фоне мешающих ревербераций повышается не только при увеличении апертуры антенны или сужении ДН, что является известным результатом [1], но и при ускорении обзора. В этом смысле ускорение обзора эквивалентно увеличению апертуры и сужению ее диаграммы направленности.

Библиографический список

1. **Коростелев, А.А.** Пространственно-временная теория радиосистем: учеб. пособие для вузов / А.А. Коростелев. – М.: Радио и связь, 1987. – 320 с.
2. **Плужников, А.Д.** Пространственная обработка локационных сигналов на фоне пассивных помех / А.Д. Плужников, А.Г. Рындык // Радиотехника и электроника. 1987. Т. 32. № 10. С. 2220–2223.
3. **Плужников А.Д.** Аналитическая оптимизация возбуждения антенной решетки при обнаружении радиолокационных сигналов на фоне пассивных помех // Радиотехника и электроника.- 1991. Т. 36. № 12. С. 2412–2415.
4. **Гуткин, Л.С.** Проектирование радиосистем и радиоустройств: учеб. пособие для вузов / Л.С. Гуткин. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.
5. **Кук, Ч.** Радиолокационные сигналы. Теория и применение: пер. с англ. / Ч. Кук, М. Бернфельд; под ред. В.С. Кельзона. – М.: Советское радио, 1971. – 567 с.

*Дата поступления
в редакцию 15.10.2010*

A.D. Pluzhnikov, E.N. Pribludova

SONAR SCANNING RATE INCREASE WITH INTERFERING REVERBERATIONS

It is shown that an increased scanning rate provides the range resolution of sonar signals by spatial processing (in particular, with the equality of angular coordinates of the echo reflectors) and the spatial suppression of interfering reverberations.

Key words: small on-off time ratio, angular coordinate scanning, clutter, spatial-temporal signals, signal selection on the interference background, range-to-angle conversion, Woodward constant, antenna aperture, antenna pattern.