

## ЧАСТОТНАЯ АДАПТАЦИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ЛОКАТОРОВ К ПОМЕХОВЫМ УСЛОВИЯМ

Задача защиты акустических локаторов (содаров) от помех является актуальной, так как даже при расположении акустических локаторов в наименее зашумленных местах внешний шумовой фон оказывает наибольшее негативное влияние на их работу [1].

Внешние акустические шумы принято подразделять на шумы естественного и искусственного происхождения. Источники естественных шумов также делят на две группы: контактные и удаленные. К шумам от контактных источников относят шумы, возникающие при непосредственном контакте осадков (капель дождя, града) с приемной антенной, при обдувании ветром антенны, а также шум, обусловленный воздействием флуктуационного движения молекул воздуха на мембрану электроакустического преобразователя. Шумы от удаленных источников — это шумы, производимые животными, птицами, насекомыми, и шумы атмосферного происхождения, порождаемые турбулентностью приземного слоя, грозowymi разрядами.

Значительное влияние на работу акустических локаторов для зондирования атмосферы оказывают шумы искусственного происхождения, обусловленные деятельностью человека. Их основные источники — транспорт и промышленность. Как показывают проведенные исследования [1], средний уровень шума сильно изменяется для различных районов и зависит от частоты приема. Уровень внешнего шума зависит также от времени суток, прежде всего за счет изменения активности деятельности человека.

Наблюдается значительная изменчивость уровня внешних помех и их частотной зависимости, порождаемая главным образом изменениями в доминирующих источниках шумов и условиями распространения звуковых волн. Неопределенность (изменчивость) как разность между средней оценкой и уровнем шума, получаемым при кратковременных измерениях на конкретной частоте, составляет 8 ... 15 дБ. При этом непостоянство условий распространения звуковых волн в атмосфере сказывается при наличии вклада шума от удаленных источников.

Образующийся вследствие изменчивости акустических помех частотно-временной резерв может быть использован для повышения возможностей акустических локаторов и приближения их характеристик к потенциальным путем размещения энергии зондирующего сигнала на участках спектра с наименьшим уровнем помех. Это может

быть достигнуто путем частотной адаптации, включающей текущий анализ частотного диапазона, определение каналов с минимальным уровнем помех и соответствующую перестройку акустического локатора.

Эффективность введения частотной адаптации может оцениваться по изменению вероятности удовлетворительной (по помеховым условиям) работы акустического локатора либо с позиций улучшения его реальной чувствительности.

Если известна ширина спектра зондирующих сигналов  $\Delta f$ , то полюсу частот, в которой работает акустический локатор, можно представить в виде множества независимых каналов. Независимыми будем считать каналы, разнесенные на ширину полосы  $\Delta f$ . Тогда вероятность удовлетворительной по помеховым условиям работы акустического локатора определяется вероятностью наличия в множестве  $n$  независимых частотных каналов хотя бы одного канала с требуемыми характеристиками

$$B = 1 - (1 - P)^n, \quad (1)$$

где  $P$  — вероятность того, что один произвольно взятый  $i$ -й канал окажется свободным от помех;  $(1 - P)$  — вероятность того, что канал будет «занят» помехами.

Для выполнения качественных изменений необходимо, чтобы уровень помех в рабочих каналах не превышал некоторого порогового значения  $U$ , а время использования рабочих частот было не менее длительности обработки сигналов  $T$ . Совокупность частотных каналов может быть представлена в виде множества элементов с дискретным переходом из одного состояния в другое. Тогда вероятность наличия канала, пригодного для измерений, определяется как произведение безусловной вероятности  $P_U(u \leq U)$  наличия канала с уровнем помех ниже порогового значения  $U$  и условной вероятности  $P_T(\tau \geq T)$  того, что время существования канала с уровнем помех ниже порогового значения  $U$  будет не менее минимального времени обработки сигналов  $T$ :

$$P = P_U P_T. \quad (2)$$

Вероятность  $P_U$  определяется соответствующим значением функции распределения вероятностей для уровней помех в конкретном частотном канале. Значение условной вероятности  $P_T(\tau \geq T)$  при  $u \leq U$  равно соответствующему значению функции  $P(\tau)$ , которая характеризует распределение времени жизни каналов при выбранном

пороге  $U$ . Вероятность  $P_T$  определяет надежность использования канала на интервале времени  $T$  для заданного порога  $U$ .

Как следует из теории массового обслуживания [2], поток пересечений пороговых уровней при кратковременном использовании каналов можно считать пуассоновским, т. е. вероятность появления на интервале  $[0, t]$  ровно  $k$  свободных каналов определяется законом Пуассона

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} \exp(-\lambda t),$$

где  $\lambda$  — параметр потока, равный среднему числу каналов, появляющихся в единицу времени. Для описания временных характеристик каналов при пуассоновском потоке можно использовать показательный закон распределения

$$p(\tau) = \frac{1}{\tau_0} \exp\left\{-\frac{\tau}{\tau_0}\right\}. \quad (3)$$

Параметр распределения  $\tau_0$  численно равен математическому ожиданию и среднеквадратическому отклонению показательного распределения; он зависит от значения порога  $U$ . Для нахождения значения  $\tau_0$  может быть использована формула [3]

$$\tau_0 = \frac{P_U \overline{\tau_0}}{1 - P_U}, \quad (4)$$

где  $P_U$  — значение функции распределения уровней помех для заданного порога  $U$ ;  $\overline{\tau_0}$  — среднее время неперевышения медианного уровня помех.

Вероятность того, что случайная величина  $\tau$  будет не менее выбранного значения  $T$ , определяется соотношением

$$P_T(\tau \geq T) = \int_T^{\infty} p(\tau) d\tau = \exp\left[-\frac{T}{\tau_0}\right]. \quad (5)$$

Выражения (2)—(5) позволяют, учитывая реальные распределения помех  $P(u)$ , определить вероятность  $B$  обеспечения удовлетворительной работы акустического локатора в конкретных реальных помеховых условиях при наличии частотной адаптации.

Более наглядной представляется оценка эффективности частотной адаптации с точки зрения улучшения реальной чувствительности систе-

мы. Основная идея такого подхода состоит в том, что при заданном распределении помех в каналах введение частотной адаптации позволит уменьшить уровень помех от значения  $U_1$ , соответствующего вероятности  $P$ , до значения  $U_2$ , соответствующего вероятности  $B$ . Тогда ожидаемый выигрыш реальной чувствительности, измеренный в децибелах, оценивается по формуле

$$\Delta U = 20 \lg \frac{U_1}{U_2}. \quad (6)$$

Закон распределения уровней акустических помех для любой случайно выбранной частоты представляет собой логарифмически нормальное распределение [1].

Поскольку в данной задаче требуется определять значение уровня помех по заданной вероятности, то значительное упрощение может быть достигнуто, если модель распределения помех представить в квантильном виде. Достаточно точной аппроксимацией логарифмически нормального закона, особенно в области малых сигналов, является экспоненциально-гиперболическое распределение Фреше [4]

$$P(u) = P_0 \left\{ \frac{u_0}{u} \right\}^\alpha, \quad (7)$$

где  $u_0$ ,  $P_0 = P(u_0)$  — значения аргумента и функции, определяющие ход зависимости;  $\alpha$  — параметр распределения, который определяет разброс значений случайной величины. Чем меньше значение  $\alpha$ , тем больше флуктуации (изменчивость) помех в каналах.

Выразив величины  $U_1, U_2$  через соответствующие вероятности и подставив результаты в (6), получим формулу для оценки выигрыша в реальной чувствительности:

$$\Delta U = \frac{20}{\alpha} \lg \frac{\lg P}{\lg [1 - (1 - P)^n]}. \quad (8)$$

Как видно из (8), эффективность частотной адаптации возрастает с уменьшением параметра  $\alpha$ , т.е. с увеличением степени разброса уровней помех, а также с увеличением числа каналов, используемых при адаптации.

Так, для значения  $\alpha = 2$ , соответствующего средней изменчивости акустических помех,  $P = 0,1$ , числа каналов  $n = 10$  ожидаемый

выигрыш составляет  $\Delta U = 7$  дБ. При  $n = 20$  выигрыш  $\Delta U = 12,5$  дБ, при  $n = 50$  выигрыш  $\Delta U = 26$  дБ.

Следовательно, адаптивный выбор несущих частот акустических локаторов в соответствия с имеющимся помеховыми условиями позволит значительно повысить возможности акустического зондирования атмосферы.

**Список литературы:** 1. Красенко Н.П. Акустическое зондирование атмосферы. Новосибирск: Наука, 1986. 168 с. 2. Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. М.: Радио и связь, 1974. 432 с. 3. Основы загоризонтной радиолокации / Под ред. А. А. Колосова. М.: Радио и связь, 1984. 256 с. 4. Комарович В.Ф., Сосунов В. Н. Случайные радиопомехи и надежность КВ-связи. М.: Связь, 1977. 136 с.

Харьковский государственный технический  
университет радиозлектроники

Поступила в редколлегию 21.01.98