

Выбор ширины спектра сигналов при решении задач распознавания в радиолокационных средствах специального назначения

Вадим КОРОЛЕВ,
к. т. н., доцент
Виктория АЛДОХИНА,
к. ф.-м. н., доцент
Роман КАТЮХА

В статье изложен подход к определению требуемой ширины спектра сигналов (девиации частоты) для решения задач радиолокации с использованием теории информации, дающей количественную оценку информации и выявляющей возможности передачи сообщения с максимальной скоростью при наименьших ошибках.

Введение

На современном этапе развития радиолокационной техники актуальна задача повышения ее основных технических характеристик, что является следствием устойчивой тенденции уменьшения массо-габаритных параметров радиолокационных целей на всех эшелонах высот.

Ввиду специфики решаемых задач — обнаружения, измерения траекторных параметров и особенно распознавания объектов на достаточно большом удалении в РЛС специального назначения — целесообразно рассмотреть пространство распространения локационного сигнала с точки зрения информационного канала, а сам сигнал — с позиции передаваемого и принимаемого объема информации.

При анализе задач, основных понятий и категорий радиолокационного распознавания в литературе часто упоминается термин «количество информации». Возникает необходимость более подробно остановиться на этом термине, который взят из теории информации, разработанной для систем связи и автоматизированных систем управления.

В теории информации дается количественная оценка информации и выявляются возможности передачи сообщения с максимальной скоростью при наименьших ошибках. Если получатель информации заведомо знает, что из двух сообщаемых событий A и B событие A абсолютно достоверно, то есть его вероятность $P_A = 1$ ($P_A = 100\%$), а событие B полностью исключено, то есть вероятность его $P_B = 0$, — то такое сообщение никакой информации не несет ($J = 0$), и для передачи достаточно одной кодовой комбинации ($N = 1$). Отсутствует информация и при $P_A = 0$, $P_B = 1$, но по мере уменьшения большей из вели-

чин P_A или P_B и равного увеличения меньшей из них ($P_A + P_B = 1$) предсказывать значения принимаемого сигнала становится все труднее, и количество информации J возрастает. Оно достигает максимума при равной величине событий: $P_A = P_B = 0,5$.

В дальнейшем будем рассматривать только равновероятные события. Очевидно, что вероятность любого события P обратно пропорциональна их числу N :

$$P = 1/N,$$

поэтому по числу возможных сообщений N_c можно судить о количестве информации J .

Учитывая, что наиболее распространена передача информации двоичным кодом, условимся выражать количество информации J числом (разрядностью) n двоичных импульсов (1; 0) с основанием m , минимально необходимых для передачи N_c сообщений. В соответствии с зависимостью $N = m^n$ количество (объем) информации удобнее определять логарифмической зависимостью

$$J = \log_2 N = \log_2 2^n = n \log_2 2 = n. \quad (1)$$

Иначе говоря, единицей информации служит сообщение о том, что произошло одно из двух равновероятных событий ($N = 2$ и $J = \log_2 N = 1$). Такая бинарная единица ($n = 1$) называется «бит».

Представляет интерес максимальная скорость передачи информации.

Обратимся к наиболее общему случаю: непрерывное сообщение длительностью T передается с использованием дискретизации по времени через интервалы Δt и квантования по амплитуде на N разрешенных уровней. По теореме Котельникова:

$$\Delta t = 1/2F_{\max} = 1/2 \times \Delta f_{\text{СП}}, \quad (2)$$

где $\Delta f_{\text{СП}}$ — ширина спектра сигнала от $f = 0$ до $f = F_{\max}$.

Так как интервал между уровнями ограничивается эффективным напряжением шумов:

$$U_{\text{ш}} = \sqrt{P_{\text{ш}}/R},$$

а смеси сигнала U_c с шумом $U_{\text{ш}}$ соответствует эффективное напряжение

$$U_c^2 + U_{\text{ш}}^2 = \sqrt{(P_c/P_{\text{ш}})/R},$$

число уровней квантования:

$$N = \frac{U_c^2 + U_{\text{ш}}^2}{U_{\text{ш}}^2} = \sqrt{\frac{(P_c + P_{\text{ш}})R}{P_{\text{ш}} \times R}} = \sqrt{1 + P_c/P_{\text{ш}}}, \quad (3)$$

где P_c и $P_{\text{ш}}$ — средние мощности сигнала и шума.

За время Δt поступает сообщение о том, что сигнал находится на одном из N уровней, что соответствует передаче $n = \log_2 N$ двоичных импульсов.

В течение длительности всего сообщения T — число импульсов увеличивается в $T/\Delta t = T \times 2\Delta f_{\text{СП}}$ раз.

Все это с учетом (3) определяет общее количество информации, поступающее за время T :

$$J = T/2 \times 2\Delta f_{\text{СП}} \log_2 N = T\Delta f_{\text{СП}} \log_2 \sqrt{1 + (P_c/P_{\text{ш}})}, \quad (4)$$

откуда максимальная скорость передачи информации:

$$C = J/T = \Delta f_{\text{СП}} \log_2 \sqrt{1 + (P_c/P_{\text{ш}})}. \quad (5)$$

При достаточно сильном сигнале ($P_c \gg P_{ш}$) можно пренебречь единицей по сравнению со значением отношения $P_c/P_{ш}$ и тогда:

$$J \equiv T \Delta f_{СП} \log_2(P_c/P_{ш}) = T \times \Delta f_{СП} \times H; \quad (6)$$

$$C = J/T \equiv \Delta f_{СП} \times H, \quad (7)$$

где $H = \log_2(P_c/P_{ш})$ — превышение сигнала над шумом.

Как видно, увеличить скорость передачи информации легче, расширяя спектр сигнала, и труднее, увеличивая его мощность P_c (отношение $P_c/P_{ш}$ входит в формулы под знаком логарифма).

По аналогии с каналом связи радиолокационный информационный канал можно представить состоящим из носителя информации — это зондирующий и отраженный от цели радиолокационные сигналы, а также источника информации — цели.

В отраженном от цели сигнале, кроме траекторных информативных признаков, кроется информация о сигнальных частотно-временных информативных признаках для распознавания целей.

Общее количество информации о цели $J_{Ц}$ (в битах), поступающее на вход устройства обработки за время накопления $T_i = T$, также может быть вычислено по формуле (6).

Для того чтобы выделить совокупность частотно-временных информативных признаков с учетом потенциальных возможностей данного класса сигналов по обеспечению необходимого для решения радиолокационных задач отношения сигнал/шум, в качестве обобщенного численного критерия (меры) можно взять информационный объем сигнала.

Для этого необходимо произвести согласование сигнала и канала получения информации.

Согласование производится по трем аналогичным для сигнала и канала величинам. Для сигнала это длительность T , ширина спектра $\Delta f_{СП}$ и превышение $H = \log_2(P_c/P_{ш})$. Для канала получения информации это время накопления сигнала в канале T_K , полоса пропускания $\Delta f_{СП}$ и допустимый диапазон уровней H_K .

Последний равен логарифму отношения максимальной P_{max} и минимальной P_{min} мощностей, на которые рассчитан канал получения информации. Произведение:

$$V = T \times \Delta f_{СП} \times H = T \Delta f_{СП} \log_2(P_c/P_{ш}) \quad (8)$$

является объемом сигнала, а соответствующее произведение для радиолокационного информационного канала называется емкостью канала:

$$V_K = T_K \times \Delta f_{СП} \times H = T_K \Delta f_{СП} \log_2(P_{max}/P_{min}). \quad (9)$$

Графически V и V_K представляются объемами двух параллелепипедов, стороны которых $T, \Delta f_{СП}, H$ и $T_K, \Delta f_{СП}, H_K$ параллельны взаимно перпендикулярным осям времени t , частоты f и превышения H (рис. 1).

С точки зрения решения задач радиолокации информационный объем представляет собой достаточное в численном отношении количество информации, которое должен обеспечить радиолокацион-

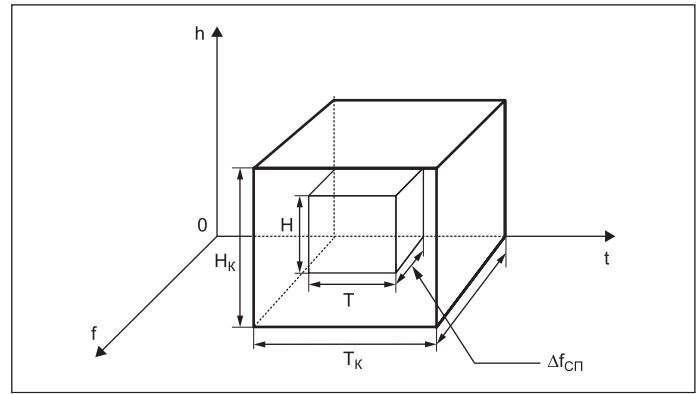


Рис. 1. Объем сигнала и емкость радиолокационного информационного канала

ный сигнал для распознавания по двум и более частотно-временным информативным признакам.

Таким образом, радиолокационный информационный канал (канал связи) и получаемые по нему сигналы должны соответствовать друг другу по названным параметрам, между которыми должны выполняться неравенства:

$$\Delta f_{ПР} \geq \Delta f_{СП}, T_K \geq T \text{ и } H_K \geq H.$$

Пропускная способность канала C_K , под которой понимают максимально допустимую скорость передачи сообщений, определяется произведением полосы пропускания Δf_K на допустимый диапазон превышения уровней H_K канала:

$$C_K = \Delta f_K H_K. \quad (10)$$

Наиболее экономичная приемопередача сигналов происходит при равенстве объемов параллелепипедов: $V = V_K$. Если объем сигнала превышает емкость канала $V > V_K$, то информация в той или иной мере теряется и сигнал искажается. При $V < V_K$ канал используется не полностью. Но если код сложного сигнала выбран таким, что разность $V - V_K$ расходуется на получение нужной избирательности, то это повышает помехоустойчивость кода, и неравенство $V > V_K$ оказывается оправданным.

Искаженное усиление иллюстрируется на рис. 2 смещением объема V вверх по оси h (мощности P_c и P_m увеличиваются одинаково), задержка сигнала — смещением вправо по оси t , модуляция без изменения ширины спектра $\Delta f_{СП}$ — смещением в сторону положительных значений f на несущую частоту f_0 , а детектирование — в сторону отрицательных на ту же величину f_0 .

Если $V < V_K$ или $V_K = V$, то соответствующей деформацией сигнала можно добиться оптимального согласования сигнала с каналом.

Пусть при неизменной общей длительности кодовой группы ($T'' = T'$) спектр расширяется от $\Delta f'_{СП}$ до $\Delta f''_{СП}$ с помощью широкопо-

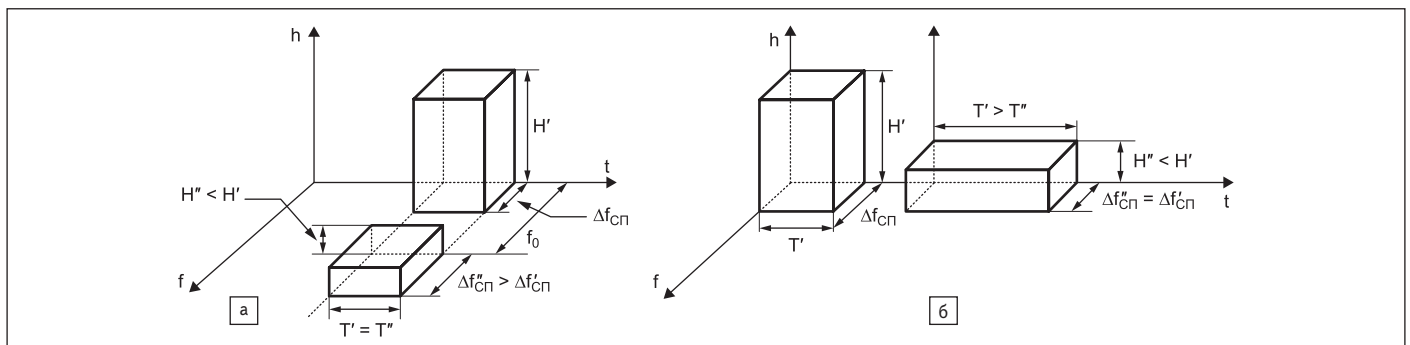


Рис. 2. Иллюстрация искаженного усиления смещением объема

лосной модуляции (например, частотной) или фазовой манипуляции зондирующего сигнала увеличенным числом дискретных импульсов n (рис. 2а). Тогда помехоустойчивость повышается тем, что требуемое превышение снижается от H' до $H'' < H'$. Накопление сигнала с параметрами $T', \Delta f_{\text{СП}}, H'$ в течение времени $T'' > T'$ позволяет добиться того же, не изменяя объема сигнала ($T'' \Delta f_{\text{СП}}'' H'' = T' \Delta f_{\text{СП}}' H'$), уменьшить превышение до $H'' < H'$ (рис. 2б).

Максимальные объемы способны обеспечить шумоподобные сигналы, они же позволяют реализовать одновременно высо-

кие разрешающие способности сигнала как по времени, так и по частоте для выделения совокупности частотно-временных информативных признаков распознавания. Эти же сигналы способны обеспечить максимальную помехоустойчивость и скрытность работы радиолокационного информационного канала, а задачи эффективного распознавания целей возможно реализовать только после решения именно этих задач. Установлено [2], что для успешного совместного решения этих задач в зависимости от способа выделения информативных признаков

для распознавания объектов шумоподобные сигналы должны обеспечивать объем от $1,08 \times 10^6$ до 460×10^6 бит. ■

Литература

1. Солонина А. И. и др. Основы цифровой обработки сигналов / Курс лекций. СПб: БХВ-Петербург, 2003.
2. Ткаченко В. П., Бачевский С. В., Борисов Е. Г., Королев В. О. Распознавание и диагностика радиолокационных объектов по спектрам вторичной модуляции. СПб: СПВВУРЭ (ВИ), 2009.