

УДК 621.396.96

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА АЛГОРИТМА СЕЛЕКЦИИ ПЛАНЕРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА

С.А. ГОРШКОВ, М.В. КРИКЛИВЫЙ, А.С. СОЛОНАР, В.А. КОНДРАТЕНКО

*Военная академия Республики Беларусь
ВА РБ, Минск, 220057, Беларусь*

Поступила в редакцию 18 января 2005

Рассматривается алгоритм селекции планерной составляющей на фоне модуляционных. Предлагаемый алгоритм позволяет обеспечить требуемое качество обнаружения планерной составляющей в соответствии с заданным критерием. Приведены результаты математического моделирования показателей качества полученного алгоритма.

Ключевые слова: радиолокация, спектр отраженного сигнала, планерная составляющая отраженного сигнала, вторичная модуляция.

Введение

Одной из проблем обнаружения планерной составляющей отраженного от воздушного объекта сигнала является несоблюдение в ряде случаев условия однозначного измерения частоты Доплера при импульсном зондировании с низкой частотой повторения. Задача усложняется, если наряду с планерной составляющей отраженного сигнала в элементах разрешения по частоте присутствуют составляющие "вторичной" модуляции. Другой проблемой можно считать превышение амплитудами гармоник "вторичной" модуляции амплитуды планерной составляющей (5–10% от общего числа [1]). При этом существующие способы выделения "планера", например, его амплитудная селекция, становятся неработоспособными. Актуальной поэтому является разработка алгоритмов селекции планерной составляющей отраженного сигнала на фоне модуляционных компонент при неоднозначной оценке частоты Доплера.

Рассмотрим реализацию алгоритма когерентной междупериодной обработки с одновременным обзором по частоте на интервале от нуля до частоты повторения F_r . При этом по окончании операции когерентного накопления на выходе каждого узкополосного фильтра вычисляется квадрат модуля обобщенного корреляционного интеграла и сравнивается с порогом. Таким образом, ведется обнаружение всех спектральных составляющих отраженного от объекта сигнала. Одновременно с обнаружением спектральных составляющих оцениваются их частоты Доплера.

С целью повышения вероятности правильного обнаружения слабых спектральных составляющих радиолокационного портрета воздушного объекта в алгоритме обработки целесообразно применить некогерентное накопление результатов обнаружения за несколько периодов когерентного накопления. Простейшим вариантом сочетания такого накопления с операцией принятия решения является межобзорное критерийное обнаружение. Для реализации межобзорного накопления используется логическое устройство принятия решения (УПР) " k из m ". В УПР анализируется одновременно не более чем m интервалов накопления, причем анализу подвергаются только те элементы разрешения по частоте, в которых состоялось обнаружение спектральных составляющих за один контакт с объектом. Если в течение m интервалов накопления в данном элементе

разрешения произошло не менее k обнаружений спектральной составляющей, то принимается решение о ее наличии. В противном случае принимается решение о ее отсутствии. В результате работы устройства обнаружения формируется "эталонный спектр", состоящий из спектральных составляющих, прошедших критериальную обработку, и представляющий собой некоторую грубую оценку формы радиолокационного портрета объекта. Данный эталонный спектр несет информацию о числе обнаруженных спектральных составляющих, их ширине и положению на частотной оси. Таким образом, происходит захват на сопровождение всех обнаруженных спектральных составляющих в отдельности по частоте Доплера.

Для проведения операций обнаружения в дальнейшем (в следующих интервалах накопления) спектр принятого сигнала сопоставляется с эталонным спектром. При этом учитываются возможные уходы частоты Доплера каждой составляющей независимо друг от друга, а также возможные изменения ширины каждой спектральной составляющей. По результатам сопоставления, которым соответствует максимальная корреляция между каждой спектральной составляющей в отдельности и соответствующей ей компонентой "эталонного спектра", в устройстве формирования разовых оценок координат объекта формируется неоднозначная оценка частоты Доплера. Параллельно этому в каждом интервале накопления происходит оценивание времени запаздывания сигнала (дальности $r_{\delta f}$), а также расчет оценок $\dot{r}_{\delta f}$, $\ddot{r}_{\delta f}$. Сопровождение сигнала по частоте Доплера начинается с момента инициализации фильтра по конечной выборке из $mN_{\text{сост}}$ неоднозначных оценок частоты Доплера [2].

Суть алгоритма селекции планера состоит в сравнении неоднозначных оценок частоты Доплера обнаруженных спектральных составляющих с оценками скорости, полученными по приращению дальности $\dot{r}_{\delta f}$, с учетом ошибок фильтрации. При этом в окрестности пересчитанной из приращения дальности в неоднозначную оценку частоты Доплера $F_{\text{а іаіаі}}^{\dot{r}_{\delta f}}$ формируются верхняя $F_{\text{а іаіаі}}^{\text{а}}$ и нижняя $F_{\text{а іаіаі}}^{\text{і}}$ границы оценочного интервала, сформированного с учетом ошибок оценивания $\sigma_{\dot{r}}$:

$$F_{\text{а іаіаі}}^{\text{а}} = F_{\text{а іаіаі}}^{\dot{r}_{\delta f}} + 3\sigma_{\dot{r}}, \quad (1)$$

$$F_{\text{а іаіаі}}^{\text{і}} = F_{\text{а іаіаі}}^{\dot{r}_{\delta f}} - 3\sigma_{\dot{r}}, \quad (2)$$

где $F_{\text{а іаіаі}}^{\dot{r}_{\delta f}}$ определяется из следующего выражения:

$$F_{\text{а іаіаі}}^{\dot{r}_{\delta f}} = \frac{2\dot{r}_{\delta}}{\lambda} - \left\{ \frac{2\dot{r}_{\delta}}{\lambda} / F_1 \right\} F_1 = \frac{2\dot{r}_{\delta}}{\lambda} - kF_1, \quad (3)$$

λ — длина волны; k — коэффициент, получаемый при помощи операции округления $2\dot{r}_{\delta}/\lambda F_1$ в меньшую сторону.

При необходимости устранения неоднозначности по частоте Доплера определяются разности между текущим отфильтрованным значением неоднозначной оценки частоты Доплера $F_{\text{а іаіаі}}$ и верхней и нижней границей соответственно. В случае, если одна из наименьших разностей меньше интервала однозначного определения частоты Доплера, равного $F_1/2$, принимается решение об устранении неоднозначности по частоте Доплера.

Момент выделения (обнаружения) "планера" $t_{\text{обн.пл}}$ определяется по факту присутствия в оценочном интервале только одной спектральной составляющей. В тех случаях, когда в рассмотренном интервале присутствуют несколько составляющих, осуществляется переход к амплитудной селекции.

На рис. 1 показан пример моделирования, поясняющий принцип селекции планерной составляющей спектра отраженного сигнала от воздушного объекта. Моделирование отраженного сигнала осуществлялось при помощи динамической модели расчета характеристик вторичного излучения BSS [3]. На рис. 1 введены следующие обозначения. Штрихпунктирной линией обо-

Причем с увеличением отношения сигнал–шум от 15 до 26 дБ значение среднего времени принятия решения также растет вследствие увеличения числа обнаруживаемых модуляционных составляющих. Дальнейшее увеличение их числа прекращается ввиду отсечки слабых по сравнению с максимальной спектральных составляющих. На носовых ракурсах $\varphi=-10-10$ град наблюдается небольшое число относительно интенсивных модуляционных компонентов, что обуславливает малое время принятия решения. На ракурсах $\varphi=10-30$ град число и интенсивность модуляционных компонент растет. Поэтому здесь наблюдается и наибольшее среднее время принятия правильных решений. При дальнейшем увеличении ракурса наблюдения интенсивность модуляционных составляющих падает, вследствие чего наблюдается резкое уменьшение среднего времени принятия правильных решений.

Выводы

Таким образом, сопоставление оценок приращения дальности с неоднозначными оценками частоты Доплера всех обнаруженных на интервале от 0 до $F_{\text{п}}$ и сопровождаемых спектральных составляющих сигнала позволяет решать задачу селекции планерной составляющей с высокой вероятностью (более 0,99). Одновременно решается и задача устранения неоднозначности оценивания частоты Доплера. Среднее время принятия решений не превышает при этом 1,5–3 с. Использование разработанного алгоритма селекции планера и устранения неоднозначности частоты Доплера позволяет в наиболее сложных условиях решать указанные задачи быстрее и надежнее, чем оператор РЛС.

REFLECTED SIGNAL BODY COMPONENT SELECTION ALGORITHM QUALITY PARAMETERS MODELLING

S.A. GORSHKOV, M.V. KRIKLIVI, A.S. SOLONAR, V.A. KONDRATYONOK

Abstract

The algorithm of a body component selection on a background of modulated components is considered. The offered algorithm allows to provide required quality of a body component detection according to the given criterion. The results of quality parameters mathematical modelling of the received algorithm are given.

Литература

1. Гейстер С.Р., Курлович В.И., Шаляпин С.В. // Научно-технические серии. Радиолокация и радиометрия № 2. Радиолокационное распознавание и методы математического моделирования. Вып. 3. 2000. С. 90–96.
2. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. Киев, 2000.
3. Radar Target Backscattering Simulation: Software and User's Manual / S.A. Gorshkov, S.P. Leshchenko, V.M. Orlenko, et al. Artech House, Inc.: Boston – London. 2002.