

К вопросу формирования радиолокационного сигнала от множественных целей

В.В.Стерлядкин, М.А.Кононов

Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики МИРЭА

119454, г. Москва, Пр-кт Вернадского 78. e-mail address: sterlyadkin@mail.ru

Рассмотрены вопросы формирования радиосигнала при работе импульсной системы радиолокационного зондирования. Учитывается различие весовых вкладов рассеивателей, находящихся в различных частях рассеивающего объема. Оценивается влияние перечисленных факторов на форму доплеровских спектров.

The problems of forming a radio signal when using pulse radar sensing system are considered. The weight differences between the contributions of the scatterers located in different parts of the scattering volume are taken into account. The influences of these factors on the shape of the Doppler spectra are estimated.

При рассмотрении задач дистанционного зондирования атмосферы общепринятым является представление о том, что протяженность объема зондирования вдоль луча и пространственное разрешение по дальности равно $c\tau_n/2$, где c – скорость распространения волны, а τ_n – длительность зондирующего импульса [1]. Из данного представления следуют и оценки ширины доплеровского спектра и расчеты погрешностей измерения дальности, отражаемости и многие другие оценки работы импульсных систем дистанционного зондирования. В первом приближении такая оценка справедлива. Однако, для ряда задач, в которых рассматривается тонкая структура рассеянного сигнала, необходим более подробный анализ условий формирования отраженного сигнала и режимов его обработки.

Рассмотрим условия формирования отраженного сигнала от множественной цели более детально. Пусть импульсная система работает в режиме излучения пачки импульсов длительностью τ_n и периодичностью повторения $\tau_{повт.}$. На рис. 1 представлена диаграмма, иллюстрирующая распространение излучения в пространство, рассеяние части излучения на наборе рассеивателей, расположенных на различных дальностях, и распространение рассеянного излучения в обратном направлении. Будем полагать, что приемная система работает в классическом режиме, при котором отдельный отсчет на приемнике усредняется за время равное τ_n .

Начало отсчета времени на графике совпадает с началом излучения импульса. Передний фронт излучаемого импульса на рис.1 распространяется со скоростью c и удаляется от приемо-передатчика по закону $R_{п.фр}=ct$, в задний фронт $R_{з.фр}=c(t-\tau_n)$. Рассеянное излучение распространяется в обратном направлении с той же скоростью (линии распространения направлены обратно).

Рассмотрим на рисунке отдельный рассеиватель, находящийся на дальности R_i . Передний фронт достигает рассеиватель в момент времени R_i/c , а передний фронт рассеянного цуга вернется к приемнику через время $t_i=2R_i/c$. Длительность рассеянного цуга равна длительность излученного импульса τ_n .

На следующем шаге рассмотрим, какие рассеиватели дают вклад в сигнал приемника в некоторый момент времени t_0 . Из рисунка видно, что сигнал одновременно приходит от слоя протяженностью $c\tau_n/2$, который расположен в интервале дальностей $(ct_0/2 - c\tau_n/2, ct_0/2)$.

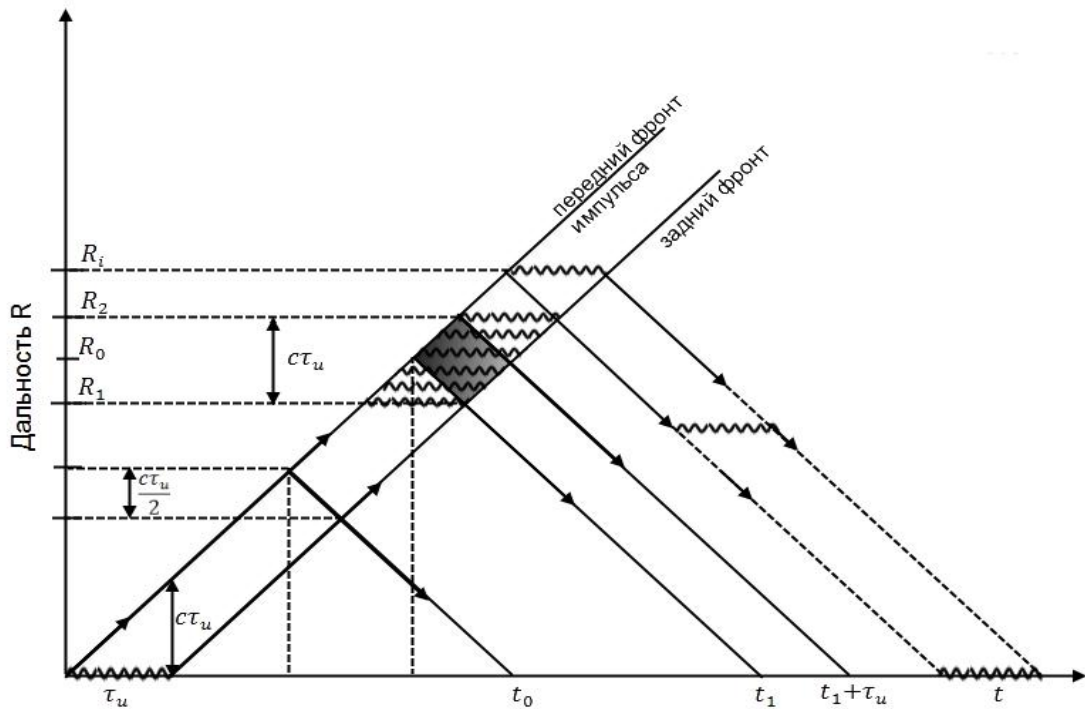


Рис.1. Показано положение переднего и заднего фронта $R(t)$ излучаемого импульса. В момент времени t_0 на приемник приходит сигнал от слоя $c\tau_u/2$. За интервал времени усреднения одного отсчета приемника ($t_1, t_1+\tau_u$) вклады дает слой рассеивателей толщиной $R_2-R_1 = c\tau_u$. При усреднении сигнала на приемнике за время τ_u усредняются цуги, заштрихованные на рисунке.

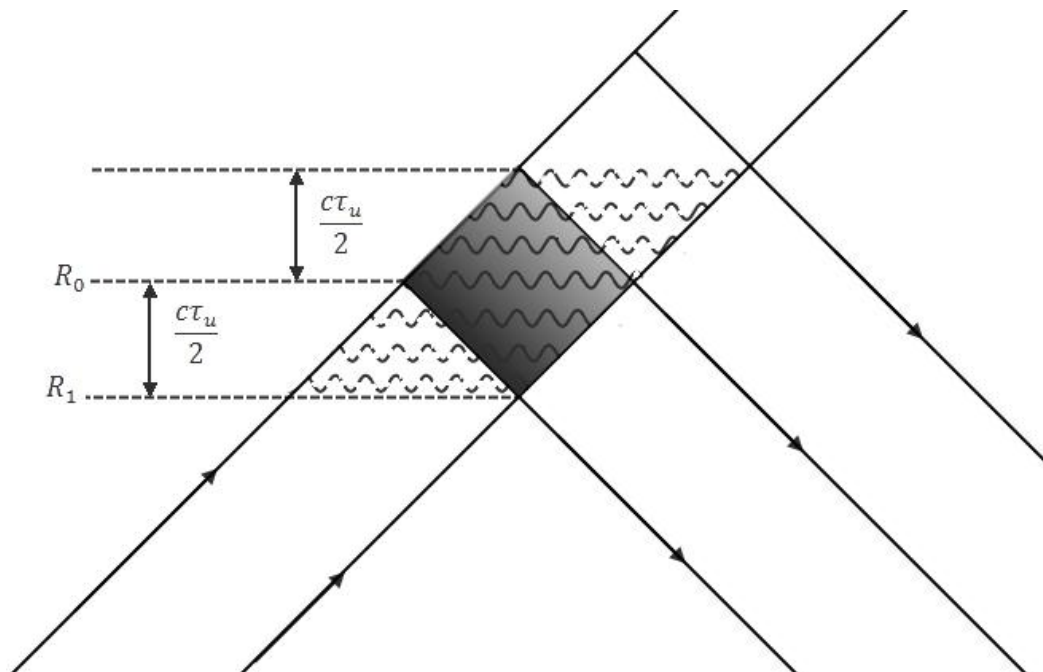


Рис.2. Два соседних отсчета приемника частично формируются общими рассеивателями. (По энергии этот вклад составляет 1/4 часть энергии всего импульса). Отсчеты, идущие через один уже полностью независимы. Цуги, заштрихованные на рисунке, усредняются на приемнике за время τ_u .

Следующий вопрос: – а какой слой рассеивателей участвует в формировании сигнала, который усредняется на приемнике традиционным способом - то есть за время равное длительности зондирующего импульса τ_n , например, за интервал времени равный $(t_1, t_1 + \tau_n)$? Из рис.1 видно, что в формировании усредненного сигнала участвуют рассеиватели не из слоя $c\tau_n/2$, а из слоя в два раза большего, а именно, из слоя $c\tau_n$! Набор цугов, которые формируют усредненный сигнал, заштрихован и показан отдельно на рисунке 2. Из рис.2 видно, что весовой вклад различных рассеивателей в сигнал различен и определяется длиной цуга, который попадает в интервал усреднения. Вклад рассеивателя, расположенного на дальности $=c t_1/2$, а длительность цуга от этого рассеивателя равна τ_n . рассеиватели на более близком расстоянии формируют более короткие цуги, то же происходит для рассеивателей, удаленных от R_0 на большее расстояние. В результате, весовой вклад $F(R)$ рассеивателей с различных дальностей в энергетику усредненного сигнала имеет вид треугольника, представленный на рис.3. Пунктиром на том же рисунке показаны весовые функции для последующих двух отсчетов по дальности.

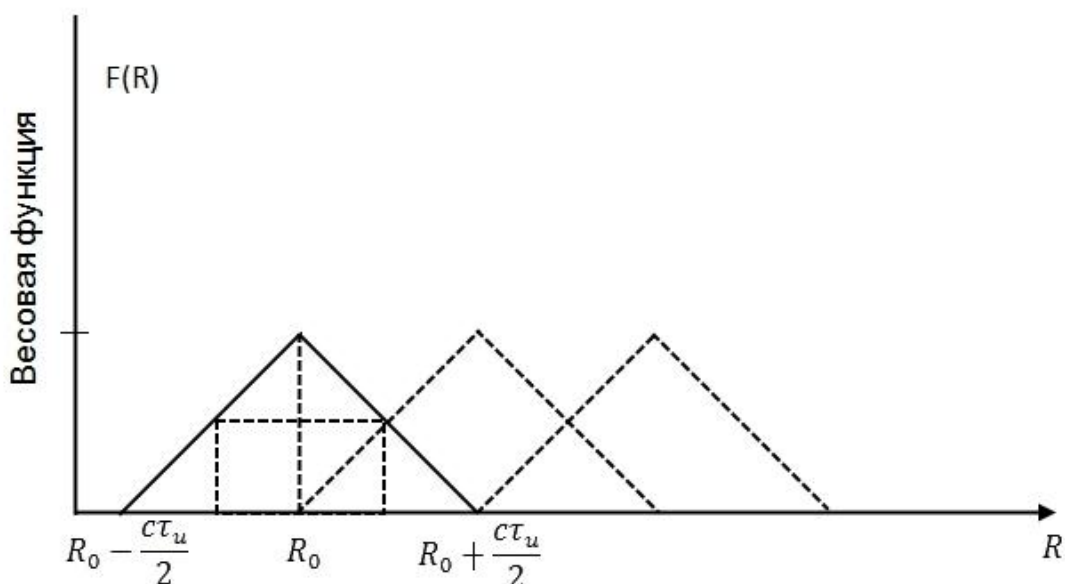


Рис.3. Весовая функция $F(R)$ вклада рассеивателей, находящихся на различных дальностях для трех соседних отсчетов приемника. Два соседних отсчета приемника частично формируются общими рассеивателями.

Из рисунков 2 и 3 видно, что общая площадь для двух соседних отсчетов составляет $1/4$ часть полного сигнала, т.е. два соседних отсчета на 25 % коррелированы между собой. В то же время отсчеты, идущие через один, уже полностью не коррелированы, т.к. формируются совершенно разными рассеивателями.

Из рис.3 следует, что при равномерном заполнении пространства рассеивателями 75% сигнала формируется центральной областью объема рассеяния, которая имеет пространственную протяженность $c\tau_n/2$, а 25% сигнала формируется «хвостами», имеющими протяженность до $R_0 \pm c\tau_n/2$. По этой причине, при неравномерном заполнении объема рассеивателями или при наличии яркой точечной цели, вклад в сигнал может быть сформирован вовсе не на дальности $c\tau_n/2$, как это считается повсеместно, а на участке вне этой области, а именно, в хвостах освещаемого объема.

Проведенный анализ предполагает, что на входе приемника отсутствует фильтрация, и цуги любой длины полностью передаются через приемный тракт. На

самом деле, в приемном тракте обычно имеется согласованный фильтр, который сглаживает короткие импульсы и полностью пропускает длинные. Этот фактор изменяет весовую функцию $F(R)$, занижая вклады краев и подчеркивая вклад центральной части. Данный вопрос и проблема формирования доплеровского спектра будет рассмотрена в следующих работах.

В заключение отметим, что для решения ряда задач дистанционного зондирования распределенных множественных целей требуется знание не только первых двух моментов спектров сигнала, но и полная форма спектров. (Примером может служить задачи доплеровской томографии [2]). Внимательная оценка тонкой структуры спектра показывает, что при расчетах следует учитывать весовой вклад рассеивателей, расположенных на различных дальностях в пределах объема зондирования. Кроме того, в расчете тонкой структуры спектров следует учитывать и спектральные характеристики приемного тракта.

Литература

1. Степаненко В.Д. Радиолокация в метеорологии. Л. Гидрометеиздат, 1978. 361 с.
2. Горелик А.Г., Стерлядкин В.В. Доплеровская томография в радиолокационной метеорологии. Известия АН СССР, сер. ФАО, т.26, №1, с.47-54.