

УДК 621.396.93

СПОСОБ РАСШИРЕНИЯ ДИАПАЗОНА ОДНОЗНАЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЦЕЛЕЙ

А.А. Головин, В.И. Слюсар, д-р техн. наук

Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники
вооруженных сил Украины

Рассмотрен новый цифровой метод измерения радиальной скорости целей, основанный на оценивании периода повторения перекрывающихся во времени импульсных эхо-сигналов. Такой подход позволяет повысить точность и расширить диапазон однозначного измерения радиальных скоростей целей.

Розглянуто новий цифровий метод виміру радіальної швидкості цілей, заснований на оцінюванні періоду повторення імпульсних сигналів, що перекриваються у часі. Такий підхід дозволяє підвищити точність і розширити діапазон однозначного виміру радіальних швидкостей цілей.

The new digital method of measurement of radial velocity of the purposes, founded on estimation of a recurrence interval of pulse returns, overcovered in time is reviewed. Such approach allows to increase accuracy and to expand range of unambiguous measurement of radial velocities of the purposes.

Совершенствование информационных технологий в радиотехнических системах (РТС) ВВС является важнейшей задачей военной науки. Оно направлено на повышение точности, быстродействия и эффективности функционирования, устойчивости к воздействию внешних факторов, технологичности изготовления, уменьшение массы, а также на обеспечение надежности эксплуатации и простоты обслуживания вооружения.

Одним из путей совершенствования РТС является переход к новым стандартам, предполагающим приоритетное использование цифровых методов сбора и обработки радиолокационной информации, измерения координат летательных аппаратов.

Для повышения точности, расширения диапазона однозначности, устранения проблем, связанных с существованием "слепых скоростей", предлагаются новые цифровые процедуры измерения радиальной скорости цели, основанные на оценивании периода повторения d перекрывающихся во времени импульсных эхо-сигналов, полученных по серии зондирований (рис.1), где d - период повторения импульсов, а z - смещение 1-го отсчета АЦП относительно фронта последнего импульса в пакете.

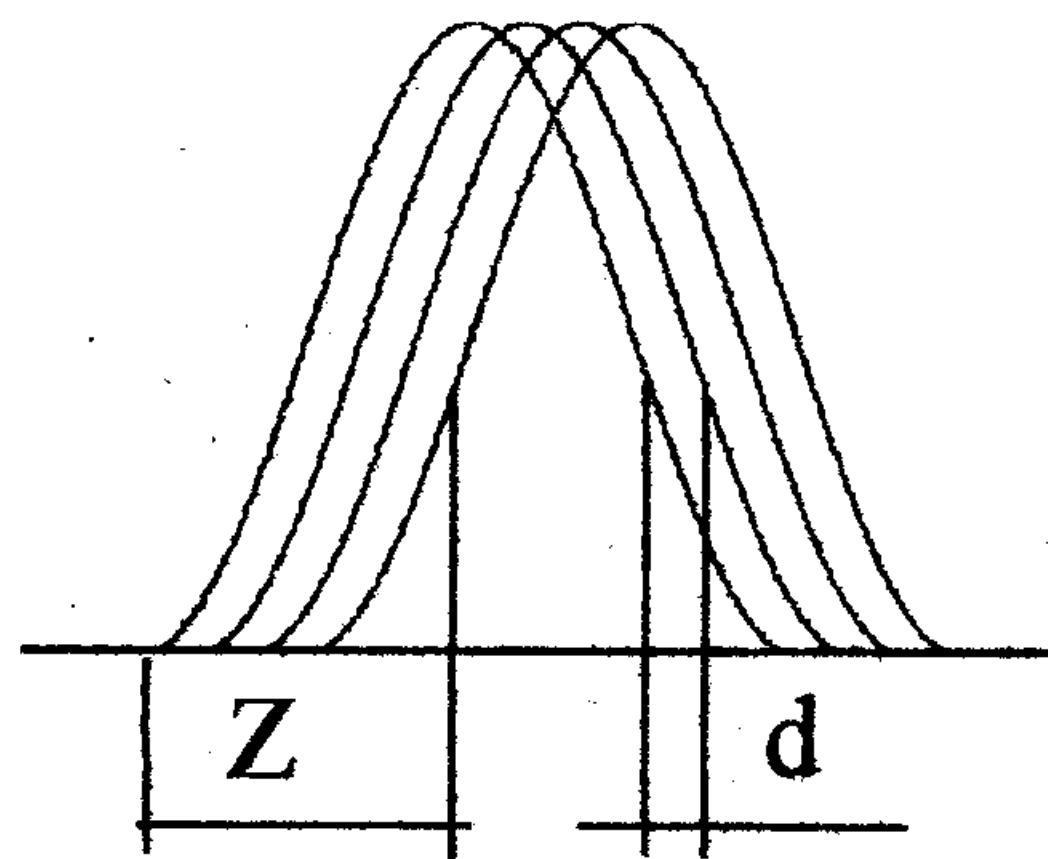


Рис. 1. Параметры сигнальной смеси, подлежащие оцениванию.

При этом используется гипотеза о прямолинейном и равномерном движении источника вдоль линии "РЛС-цель", а также информация о законе изменения огибающей импульсов. Сама измерительная выборка формируется путем многократного суммирования одноименных отсчетов сигналов, полученных в разных периодах излучения.

В случае аналитической функции огибающей искомые оценки определяются решением системы алгебраических уравнений или уравнения M -ой степени (M - количество сигнальных отсчетов, формируемых в пределах существования сигнальной смеси). В тех случаях, когда решения этих уравнений

трудно вычислимы либо вообще не могут быть найдены в аналитическом виде, следует использовать итерационные методы оценивания.

В рамках предлагаемого подхода воспользуемся для определения оценок скорости методом наименьших квадратов [1]. Сумма квадратов невязок всех уравнений системы для квадратурных составляющих нормированной комплексной огибающей импульса $k(s + z + td)$ будет иметь вид:

$$F = \sum_{s=0}^S \sum_{t=0}^T \left\{ U_{st}^c - \hat{a}^c k^c(s + \hat{z} + t\hat{d}) \right\}^2 + \sum_{s=0}^S \sum_{t=0}^T \left\{ U_{st}^s - \hat{a}^s k^s(s + \hat{z} + t\hat{d}) \right\}^2, \quad (1)$$

где s – номер отсчета АЦП, S – длительность зондирующего импульса в периодах дискретизации, T – количество импульсов в пачке.

Минимум F обеспечивается при вполне определенных оценках \hat{a}^c и \hat{a}^s . Эти оценки, как известно, можно найти путем дифференцирования (1) по указанным неизвестным и приравнивания к нулю их частных производных:

$$\hat{a}^c = \frac{\sum_{s=0}^S \sum_{t=0}^T U_{st}^c k^c(s + \hat{z} + t\hat{d})}{\sum_{s=0}^S \sum_{t=0}^T [k^c(s + \hat{z} + t\hat{d})]^2};$$

$$\hat{a}^s = \frac{\sum_{s=0}^S \sum_{t=0}^T U_{st}^s k^s(s + \hat{z} + t\hat{d})}{\sum_{s=0}^S \sum_{t=0}^T [k^s(s + \hat{z} + t\hat{d})]^2}. \quad (2)$$

Для нахождения оценок \hat{z} и \hat{d} перейдем к модифицированной, согласно [1], функции правдоподобия. Для этого слагаемые, входящие в (1) возведем в квадрат и раскроем скобки. После чего получим:

$$F = \sum_{s=0}^S \sum_{t=0}^T (U_{st}^c)^2 - 2\hat{a}^c \sum_{s=0}^S \sum_{t=0}^T U_{st}^c k^c(s + \hat{z} + t\hat{d}) + \sum_{s=0}^S \sum_{t=0}^T [\hat{a}^c k^c(s + \hat{z} + t\hat{d})]^2 + \sum_{s=0}^S \sum_{t=0}^T (U_{st}^s)^2 - 2\hat{a}^s \sum_{s=0}^S \sum_{t=0}^T U_{st}^s k^s(s + \hat{z} + t\hat{d}) + \sum_{s=0}^S \sum_{t=0}^T (U_{st}^s)^2. \quad (3)$$

Минимизация F обеспечивается при максимальном значении слагаемых со знаком “минус” в выражении (3). Модифицированная функция правдоподобия с учетом полученных оценок (2) и (3) примет вид:

$$F_M = \frac{\left[\sum_{s=0}^S \sum_{t=0}^T U_{st}^c k^c(s + \hat{z} + t\hat{d}) \right]^2}{\sum_{s=0}^S \sum_{t=0}^T [k^c(s + \hat{z} + t\hat{d})]^2} + \frac{\left[\sum_{s=0}^S \sum_{t=0}^T U_{st}^s k^s(s + \hat{z} + t\hat{d}) \right]^2}{\sum_{s=0}^S \sum_{t=0}^T [k^s(s + \hat{z} + t\hat{d})]^2} = \max \quad (4)$$

Искомые оценки \hat{z} и \hat{d} находим из (4) путем перебора с заданным шагом их возможных значений до достижения функцией F_M максимума максимум.

Проверка работоспособности измерительной процедуры (4) путем математического моделирования в пакете Mathcad подтвердила ее состоятельность, а также возможность прецизионного измерения скорости целей при соблюдении принятых ограничений.

Рассмотренный подход может быть обобщен на случай сверхрелеевого разрешения M источников по радиальной скорости, однако это приводит к росту вычислительных затрат.

В целом, предложенный способ измерения радиальной скорости позволяет устранить недостатки традиционных процедур частотной фильтрации и тем самым обеспечивает возможность повышения эффективности функционирования информационных РТС ВВС.

Литература

1. Варюхин В.А., Покровский В.И., Сахно В.Ф. Модифицированная функция правдоподобия в задаче определения угловых координат источников с помощью антенной решетки // Доклады АН СССР. - 1983. - Т. 270. - N 5. - С. 1092-1094.