

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РЛС САНТИМЕТРОВОГО И МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНОВ ДЛИН ВОЛН

М.М.Золотарев, А.А.Толкачев, В.Е.Фарбер

ОАО «Радиофизика»

Рассматривается ряд проблем, возникших при отработке совместного функционирования РЛС сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн. Обсуждаются особенности функционирования и дополнительные возможности, появляющиеся при совместной работе этих средств.

Variety of problems, arisen when working out the combination of centimeter- and millimeter-wave radars, are considered. Particular functioning quantities and additional features, appearing on co-operative operation of these devices, discussed.

Высокие требования по точности, помехозащищенности и поисковым возможностям, предъявляемые к современным многофункциональным РЛС, все чаще приводят к необходимости создания радиолокационных систем, включающих в свой состав несколько РЛС, каждая из которых обеспечивает решение части поставленных задач, что позволяет обеспечить высокие технические характеристики системы при менее жестких требованиях к каждой из РЛС.

В связи с усложнением радиолокационной обстановки, появлением эффективных активных и пассивных помех, а также интенсивным освоением в прошедшее десятилетие миллиметрового диапазона длин волн (ММДВ), в настоящее время появилась реальная возможность включения в состав радиолокационных систем РЛС этого диапазона, позволяющего существенно повысить помехозащищенность от активных, пассивных помех и последствий повышенной ионизации атмосферы, а также точность измерения координат при относительно небольших размерах и стоимости антенн и всей аппаратуры РЛС в целом [1,2].

Использование РЛС ММДВ с ограниченными поисковыми возможностями, но с высокой точностью измерения координат и высокой помехозащищенностью делает необходимым во многих случаях использование дополнительных средств, например, РЛС сантиметрового диапазона длин волн (СМДВ), для обеспечения поиска и обнаружения радиолокационных объектов (РО) в заданном секторе с последующей выдачей целеуказаний по выбранной компактной группе РО, угловые размеры которых согласованы с ограниченными поисковыми возможностями РЛС ММДВ.

Обеспечение совместной обработки информации ставит перед разработчиками ряд специфических задач. Сложность вторичной обработки информации в существенной степени зависит от уровня объединения информации при оценке параметров движения наблюдаемых объектов. В простейшем случае, когда траектории строятся независимо для каждой РЛС, дополнительно необходимо решать задачу диспетчеризации обработки информации от двух средств, а также задачи отождествления и весового суммирования траекторий. При объединении информации на уровне единичных замеров алгоритм траекторной обработки является наиболее сложным, особенно при несинхронных со случайными интервалами измерениях в разных РЛС.

Для оценки параметров движения в современных РЛС используются, как правило, рекуррентные соотношения фильтра Калмана. При этом наименее жесткие требования к производительности вычислительных средств предъявляются при синхронных измерениях в РЛС системы. При несинхронных измерениях число умножений, требуемых для оценки параметров движения, возрастает в 2.3 раза [3]. Если же наряду с несинхронностью излучений имеет место случайный характер задержек в обработке информации на каждой РЛС, то единичные замеры поступают на вторичную обработку в общем случае не упорядоченными по времени и для возможности решения задачи фильтрации необходимо обеспечить упорядочение по времени приходящих от двух РЛС единичных замеров. Эта задача требует увеличения оперативной памяти, дополнительных операций по перебору информации и искусственного введения задержек в ее обработке.

Оставить организацию обработки информации неизменной позволяет усложнение алгоритмов траекторной обработки путем введения наряду с процедурами фильтрации процедур сглаживания единичных замеров для случая, когда время привязки вновь пришедших измерений меньше времени привязки параметров траектории [4].

Наиболее просто вопрос формирования временной диаграммы работы РЛС решается в случае, когда РО наблюдается на первой развертке дальности, поскольку в этом случае в заданном угловом направлении (УН) сразу может быть сформирована временная связка (ВСВ) элементов временной связки (ЭВСВ), обеспечивающих замкнутый временной цикл работы РЛС, например, формирование диаграммы направленности, излучение импульса передающего устройства в заданном угловом направлении, прием и обработку эхо-сигнала в этом УН и т.д.

Тенденция увеличения поисковых возможностей за счет увеличения частоты повторения зондирующих импульсов, что характерно для РЛС ММДВ, требует от программы формирования временной диаграммы работы РЛС совмещения последовательности исполнения функций в различных угловых направлениях (в частности, на различных развертках дальности одновременно). Это достигается за счет усложнения системы формирования временной диаграммы работы РЛС, когда приходится оперировать не с совокупностью непрерывных и непересекаемых по времени ВСВ работы РЛС в одном УН, а с отдельными элементами этой ВСВ [5,6].

Временная диаграмма работы РЛС образуется путем сопоставления последовательности временных дискретов (ВД), называемой конвейером временных дискретов (КВД), на которые разбивается текущий временной интервал, длительностью, например, 1 с. Формирование временной диаграммы работы РЛС сводится к размещению ЭВСВ на КВД. Временные дискреты, соответствующие размещенным на КВД элементам ВСВ, отмечаются записью «1», а освобожденные ВД отмечаются записью «0» в соответствующих разрядах КВД.

Одна из задач, связанная с обеспечением совместного функционирования двух РЛС, состоит в обеспечении их электромагнитной совместимости. Несмотря на сложность, эта задача в описанной системе формирования временной диаграммы работы РЛС с использованием системы КВД решается достаточно просто путем передачи спланированной программы работы одной из РЛС, принятой в качестве ведущей, на другую РЛС [5]. Аналогичным образом можно достаточно просто обеспечить электромагнитную совместимость произвольного количества РЛС.

Следует иметь в виду, что движение РО в атмосфере, как правило, сопровождается образованием плазмы. В этом случае РО представляет собой

протяженный радиолокационный объект. Это приводит к тому, что от одного РО существенно возрастает количество информации.

Доплеровский спектр частот эхо-сигнала плазменного следа смещен в область низких частот относительно эхо-сигнала РО [7]. В этих условиях существует возможность разгрузки системы обработки информации путем использования сигналов, обеспечивающих эффективное разрешение целей по дальности или радиальной скорости. При использовании сигналов, не обеспечивающих разрешение целей по радиальной скорости, например, сигналов с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ-сигналов), для разгрузки системы обработки информации могут быть использованы специальные приемы.

Остановимся более подробно на использовании для этих целей ЛЧМ-сигналов. ЛЧМ-сигнал обладает той особенностью, что при измерении дальностной координаты появляется скоростная ошибка ΔR_n^v , пропорциональная разности между радиальной $v_R(t_n)$ и опорной $v_R^{om}(t_n)$ (соответствующей опорному значению частоты) скоростями [8]

$$\Delta R_n^v = k_v \{v_R(t_n) - v_R^{om}(t_n)\}, k_v = T_{zc} F / \Delta F,$$

где k_v - коэффициент скоростного смещения; F - несущая частота; ΔF - частотная девиация ЛЧМ-сигнала; T_{zc} - длительность зондирующего сигнала.

Следовательно, скоростная ошибка при измерении дальностной координаты плазменного следа будет отличаться от скоростной ошибки при измерении дальности до РО. Таким образом, увеличивая значение коэффициента скоростного смещения, можно эффективно селективировать по дальности замеры, получаемые от плазменного следа.

Установка ФАР на опорно-поворотном устройстве (ОПУ) существенно расширяет тактико-технические характеристики РЛС. При этом планирование работы многоканальных РЛС с подвижной ФАР состоит в прогнозировании положения выбранного для обслуживания РО на очередной момент излучения зондирующего импульса и выставке луча в спрогнозированное УН. При этом точность прогнозирования углового положения РО должна быть соизмерима с шириной диаграммы направленности РЛС. Это, в свою очередь накладывает достаточно жесткие условия на точность прогнозирования положения ФАР на заданные моменты излучения и приема эхо-сигналов.

Ситуация усложняется тем, что в движении ФАР обычно присутствуют гармонические составляющие, связанные с собственными частотами привода. Кроме того, используемые для оценки положения ФАР преобразователи угол-код, например, фотоэлектрические, представляют собой амплитудные квантователи. Поэтому на входе фильтра оценки параметров движения присутствуют кроме шумовых еще и составляющие типа единичных скачков, что в свою очередь приводит к появлению периодических составляющих на выходе. Эти периодические колебания будут присутствовать и в целеуказаниях, выдаваемых другому радиолокационному средству. Таким образом траекторию движения ОПУ ФАР целесообразно описывать суперпозицией полиномиальных и гармонических составляющих. Справедливость такой модели координатных замеров ОПУ подтверждена обработкой экспериментально полученных данных на реальном ОПУ действующей РЛС [9].

Один из основных вопросов, связанных с определением характеристик РЛС ММДВ, состоит в оперативном измерении затухания в атмосфере. Поскольку

затухание сигналов РЛС СМДВ практически не зависит от параметров невозмущенной атмосферы, то обеспечив одновременное излучение в направлении на объект с эталонной ЭПР (сфера) РЛС СМДВ и ММДВ, расположенных в одной точке, и оценку отношения сигнал/шум для каждого радиолокатора, по соотношению между ними с учетом априорно известных технических характеристик РЛС и параметров излученных сигналов можно оперативно определить затухание радиоволн для радиолокатора миллиметрового диапазона.

Тенденция к унификации программно-алгоритмического обеспечения радиолокационных средств приводит к тому, что при выборе цены младшего разряда необходимо ориентироваться на точностные характеристики параметров РЛС ММДВ, а при оценке максимальных значений – на РЛС СМДВ, что приводит к увеличению количества разрядов цифровых устройств, предназначенных для реализации унифицированного программно-алгоритмического обеспечения [10].

Разработанные методы носят общий характер и применимы к любым пространственно-некогерентным радиолокационным системам.

Литература

1. Леонов С.А. Радиолокационные средства противовоздушной обороны. М., Воениздат, 1988.
2. Tolkachev A.A., Levitan B.A., Soloviev G.K., Veytsel V.V., Farber V.E. A Megawatt Power Millimeter-Wave Phased-Array Radar, IEEE AES Systems Magazine, July, 2000.
3. Черняк В.С., Заславский Л.П., Осипов Л.В. Многопозиционные радиолокационные станции и системы. Зарубежная радиоэлектроника, №1, 1987.
4. Ли Р. Оптимальные оценки, определение характеристик и управление. М., Наука, 1966.
5. Золотарев М.М., Никифорова Е.С., Фарбер В.Е. Обеспечение электромагнитной совместимости радиотехнических средств. Тезисы докладов Всесоюзного симпозиума по проблемам электромагнитной совместимости технических средств. ВНТОРЭС им. А.С. Попова, Суздаль, 1991.
6. Золотарев М.М., Толкачев А.А., Фарбер В.Е. Из истории создания программно-алгоритмического обеспечения современных многоканальных радиолокационных средств с ФАР. Радиопромышленность. Юбилейный выпуск к 100-летию РАДИО, выпуск 1(2), 1995.
7. Великанов В.Д., Галкин В.И., Захарченко И.И. и др. Радиотехнические системы в ракетной технике /Под общей редакцией Галкина В.И., Захарченко И.И., Михайлова Л.В. М., Воениздат, 1974.
8. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. М., Радио и связь, 1981.
9. Волочков Е.Б., Егорова Н.Ю., Толкачев А.А., Топчиев С.А., Фарбер В.Е. Особенности прогнозирования углового положения неподвижных ФАР высокоточных многоканальных РЛС. Тезисы докладов XXVII НТК "Теория и техника антенн", 23-25 августа. Москва, 1994.
10. Фарбер В.Е. Анализ ошибок счета в цифровых фильтрах первого порядка с растущей и эффективной конечной памятью. Изв. РАН. Техн. Кибернетика, 1992, №1.