

# Обработка информации и управление

УДК 621.396.96:681.142.1

## Вопросы создания информационной структуры многофункциональных РЛС с ФАР

М.М. Золотарев, А.В. Прусаков, А.А. Толкачев, С.А. Топчиев, В.Е. Фарбер

Рассмотрены некоторые проблемы создания программно-алгоритмического обеспечения и вычислительных средств многофункциональных РЛС с фазированными антенными решетками (ФАР).

A variety of problems developing up-to-date software and hardware of multifunctional radars with PAA is considered.

### Введение

Сложность и изменчивость радиолокационной обстановки при наблюдении быстро перемещающихся радиолокационных объектов (космических, воздушных, наземных, морских) и необходимость адаптации к ней, а также стремление к расширению функциональных возможностей РЛС, привели к созданию сложных многофункциональных РЛС с ФАР и цифровой обработкой информации, способных обеспечивать быстрый обзор области поиска, обнаружение и сопровождение большого количества целей и ряд других функций.

Такого рода РЛС обычно содержат: приемно-передающую систему с ФАР, специализированное устройство обработки информации (УОИ), вычислительный комплекс (ВК) универсальных вычислительных средств, устройство сопряжения (УС) с аппаратурой, станционную магистраль обмена информацией (МОИ), каналы обмена информацией с внешними абонентами и программно-алгоритмическое обеспечение (ПАО). Устройства УОИ и ВК образуют вычислительные средства (ВС) РЛС [1].

Многие аспекты разработки ПАО нашли отражение в [1–12]. Для ряда случаев разработаны решения и рекомендации. Однако, в целом, методология разработки ПАО для упомянутых выше средств находится в процессе развития. Цель работы – рассмотреть некоторые аспекты, связанные с созданием ПАО современных радиолокационных средств, на основе опыта создания ПАО многофункциональных РЛС с ФАР сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн [10–12].

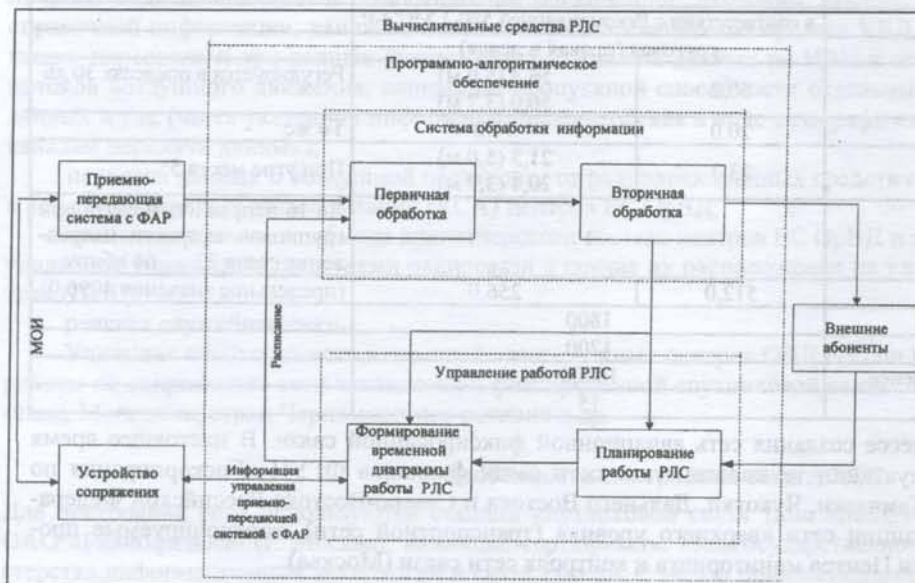


Рис. 1

### Обработка информации и управление аппаратурой в современных РЛС

Одна из возможных структурных схем обработки информации и управления работой многофункциональной РЛС приведена на рис. 1.

Программно-алгоритмическое обеспечение в составе РЛС обеспечивает излучение зондирующего сигнала в заданные моменты времени, прием отраженных от радиолокационных объектов сигналов, их оцифровку и обработку превысивших порог обнаружения сигналов.



Первичная обработка информации обеспечивает обнаружение сигналов и формирование вектора параметров замеров, включая сигнальные характеристики, вторичная обработка – объединение информации, полученной в разные моменты времени, обнаружение траекторий, оценку параметров движения каждого из обнаруженных объектов и формирование заявок на последующее обслуживание этих объектов.

Управление РЛС осуществляется ПАО путем формирования информации управления приемно-передающей системой с ФАР и расписаний для обработки информации, содержащих перечень исходных данных для обеспечения заданного вида работы, например, для обеспечения обзора пространства или измерения координат сопровождаемых радиолокационных объектов, контроля исправности аппаратуры и т.п. В процессе управления РЛС ПАО осуществляет регулирование интенсивности входного потока информации [4, 13].

### Структура ПАО

Программно-алгоритмическое обеспечение принято подразделять на комплексы программ (КП) и компоненты. Комплекс программ представляет собой совокупность компонентов программ и информационных модулей (базы данных). Различные совокупности комплексов программ обеспечивают все виды работ РЛС. Компоненты (группы программ, частные программы, процедуры, управляющие программы) представляют собой совокупность программных модулей (ПМ), решающих одну целевую задачу, и информационный модуль.

Типовое ПАО по нашему мнению может включать в себя следующие комплексы программ:

- первичной обработки (КППО);
- вторичной обработки (КПВО);
- формирования временной диаграммы работы (КПФВД) и организации обмена информации с аппаратурой по МОИ;
- планирования работы (КППЛ);
- контроля технического состояния аппаратуры (КПКТС);
- имитации (КПИМ).

### Распределение задач обработки информации и управления РЛС между универсальными и специализированными вычислительными средствами

Одно из основных требований к распределению задач на составные части ВС состоит в минимизации интенсивностей потоков информации между средствами обработки информации РЛС. С нашей точки зрения универсальные вычислительные средства целесообразно использовать для решения тактических задач РЛС и ее адаптации к изменению текущей радиолокационной обстановки, а специализированные вычислительные средства – для решения задач обработки информации, требующих высокой производительности.

Универсальные вычислительные средства решают задачи распределения ресурсов РЛС, состоящие в формировании заявок на зондирующие сигналы различных типов, формировании временной диаграммы работы РЛС, управлении фазовым распределением ФАР и параметрами работы приемного устройства и регулирования интенсивности входного потока информации.

Специализированные средства решают задачи обнаружения сигналов и идентификации обнаруженных сигналов с завязанными траекториями, формирования единичных измерений, построения зон идентификации по дальности для объектов, принадлежащих обслуживаемому угловому направлению (УН), распределения единичных замеров между завязанными траекториями.

### Организация вычислительного процесса

Организация вычислительного процесса определяется структурой вычислительных средств и требованиями к приоритетности запуска компонент программ, объединенных ядром операционной системы реального времени (ОСРВ). Операционная система должна, как правило, обеспечивать величину времени реакции программного обеспечения на случайное событие от 10 до 100 мкс (система «жесткого» реального времени). Она должна быть многонитивой и поддерживать диспетчеризацию с вытеснением, обеспечивать реализацию приоритетности нити по представлению ей аппаратных ресурсов, поддерживать предсказуемые механизмы синхронизации нитей по использованию ресурсов, а также должен быть предусмотрен механизм “наследования” приоритетов (система должна быть защищена от инверсии приоритетов) [8, 9].

Использование в вычислительных средствах асинхронной системной шины позволяет осуществлять обмен информацией между составными частями ВС, представляющими собой процессорные платы и одноплатные компьютеры, на которых реализованы комплексы программ настолько быстро, насколько это позволяет передача сигналов подтверждения [14].

Комплексы программ, как правило, включают в себя частные программы «Диспетчер», «Определение приоритета запуска групп программ», группы программ «Обработка информации и управления РЛС», частные программы «Драйвер» и управляющую программу «Ядро ОСРВ», объединяющую указанные выше программы [4, 8, 12].



Частная программа «Диспетчер» обеспечивает определение вида функционирования, в которое необходимо осуществить переход, из условий переходов из состояния в состояние и формирование необходимой информации для реализации перехода из одного состояния в другое.

Частная программа «Определение приоритетов запуска групп программ» формирует список групп программ, в котором номер группы определяет приоритет ее запуска, путем анализа количества необслуженных заявок на обработку в очередях во входных массивах групп программ. Эта программа в условиях случайных потоков информации обеспечивает «проталкивание» порций информации со входа системы обработки информации на ее выход и минимизацию времен их пребывания в системе. Одной из возможных реализаций последовательности обработки информации является накопление порций информации в очередях на входе всех блоков и их обработка, начиная с конечного блока обработки, и освобождение места для записи результатов обработки предыдущих по отношению к направлению потока выходной информации блоков [4].

Группы программ «Обработка информации и управление РЛС» решают задачи по обработке информации и управлению, выполняемые данным комплексом.

Частные программы «Драйвер» осуществляют реализацию обмена информацией по соответствующему каждой программе каналу обмена внутри ВС или с внешними абонентами.

Управляющая программа «Ядро ОСРВ» производит запуск групп программ «Обработка информации и управление РЛС» по заявкам с учетом списка групп программ, определяющего приоритет их запуска, определяет на заданном временном интервале времени «простоя» каждый процессор, на котором реализуются эти группы, формирует заявки на запуск групп программ по аппаратным прерываниям.

### Особенности обработки информации и управления РЛС

Управление РЛС состоит в управлении работой составных частей аппаратуры РЛС, включая ВС. Для этой цели должна быть сформирована временная диаграмма работы аппаратуры и шкала приоритетов включения блоков обработки получаемой информации, реализующая текущее разделение времени между ними.

Требования к организации обслуживания радиолокационных объектов в многофункциональной РЛС в значительной мере определяются необходимостью их адаптации к изменяющейся радиолокационной обстановке и текущим ресурсам РЛС. Поэтому ПАО современных РЛС целесообразно проектировать в виде системы массового обслуживания (СМО) в части обслуживания заявок как на обработку информации, так и на использование ресурсов аппаратуры РЛС. Такое построение ПАО обеспечивает предельно простое оперативное дополнение новых заявок на использование ресурсов аппаратуры и на обработку информации [3,4,6].

Для организации оперативной реакции системы обслуживания, например, для организации двухэтапной процедуры обнаружения, необходимо предусмотреть возможность повторного зондирования углового направления с минимально возможной задержкой. Нетрудно заметить, что заявки такого рода являются разовыми и самыми приоритетными. Задача обнаружения и последующего сопровождения радиолокационных объектов решается путем последовательной периодической посылки зондирующих сигналов (ЗС) в угловые направления, соответствующие сопровождаемым радиолокационным объектам или областям обнаружения радиолокационных объектов. Заявки на такие виды обслуживания целесообразно сделать в виде заявок, обслуживаемых с заданным периодом. В процессе проведения радиолокационных наблюдений необходимо наряду с решением основных задач получения информации об объектах и устойчивого их сопровождения решать еще и дополнительные задачи, связанные, в частности, с поддержанием работоспособности аппаратуры и контролем ее состояния. Поскольку решение дополнительных задач не связано с излучением энергии, заявки на их решение целесообразно вынести в отдельный список.

Таким образом, заявки на обслуживание следует группировать в три таблицы. При этом исходной информацией для планирования работы РЛС служит список заявок на повторное обслуживание УН от системы первичной обработки информации (первая таблица приоритетов – 1ТПР), список периодических заявок от системы вторичной обработки (вторая таблица приоритетов – 2ТПР) и список служебных заявок (третья таблица приоритетов – 3ТПР).

При формировании заявок на обслуживание необходимо задать полный набор параметров для их обслуживания. При этом набор параметров 1ТПР приходит из первичной обработки вместе с заявкой, набор параметров 3ТПР известен заранее. Поэтому основной объем вычислений производится при формировании 2ТПР.

Из сформированных таблиц приоритетов выбираются заявки на обслуживание. Под обслуживанием понимается последовательный процесс задания временных интервалов для излучения зондирующих сигналов, интервалов приема отраженных сигналов, обработки информации и служебных интервалов для организации работы аппаратуры РЛС в интересах получения радиолокационной информации в соответствии со списком заявок на обслуживание.

Выбор заявок на обслуживание начинается с рассмотрения заявок 1ТПР до полного ее исчерпания. Выбор заявок из 2ТПР происходит по времени начала очередного периода ее обслуживания, указанного в перечне параметров заявки. За один такт работы алгоритмов планирования определяется работа только одного УН, что при следующем такте работы позволяет вновь обратиться к рассмотрению заявок 1ТПР, чем обеспечивается быстрая реакция на появление заявок 1ТПР. После окончания планирования заявок 2ТПР осуществляется попытка на интервале,



занятом реализацией этой заявки, выполнять заявки из ЗТПР. После выбора заявки на обслуживание вычисляются необходимые параметры для обеспечения излучения зондирующего сигнала и приема отраженных сигналов и формируется временная диаграмма работы устройств РЛС. Приоритет обслуживания заявок ЗТПР определяется их порядковым номером в таблице, т.е. при прочих равных условиях в первую очередь происходит обслуживание заявок с минимальным порядковым номером по месту в таблице приоритета.

Наиболее просто вопрос формирования временной диаграммы решается в случае, когда объект наблюдается на первой развертке дальности, поскольку при этом в заданном угловом направлении сразу может быть сформирована временная связка (ВСВ), состоящая из элементов временной связки (ЭВСВ), обеспечивающих замкнутый временной цикл работы РЛС, например, формирование диаграммы направленности, излучение зондирующего сигнала передающим устройством в заданном угловом направлении, прием и обработку отраженных сигналов в этом угловом направлении, формирование импульса запроса обмена ВС с УС для передачи необходимой информации и т.д. [6].

Реализация максимальных поисковых возможностей РЛС за счет увеличения частоты повторения зондирующих сигналов и частот сопровождения объектов на различных развертках дальности приводит к необходимости реализации вложения ВСВ различных угловых направлений друг в друга, исключая пересечение ЭВСВ этих направлений путем перемещения моментов времени начала излучения зондирующих сигналов в них с учетом ограничений передающего устройства РЛС на размещение этих сигналов. Временная диаграмма работы РЛС может формироваться путем сопоставления последовательности ЭВСВ последовательности временных дискретов (ВД), называемой конвейером временных дискретов (КВД), на которые разбивается текущий временной интервал. Формирование временной диаграммы работы РЛС сводится к последовательному размещению на КВД ЭВСВ работы РЛС в различных угловых направлениях путем указанного вложения ВСВ [11]. Временные дискреты, соответствующие размещенным на КВД элементам ВСВ, отмечаются записью «1», а не задействованные выполнением функций ВСВ – «0». Пример схемы вложения ВСВ в КВД приведен на рис. 2, где не заштрихованные дискреты КВД соответствуют записи «0», а заштрихованные – «1»; 1, 2, 3 – ЭВСВ для излучения сигнала передающим устройством в  $i$ -ом УН, 1', 2', 3' – ЭВСВ для приема сигналов в  $i$ -ом УН,  $i = 1, 2, 3$ .

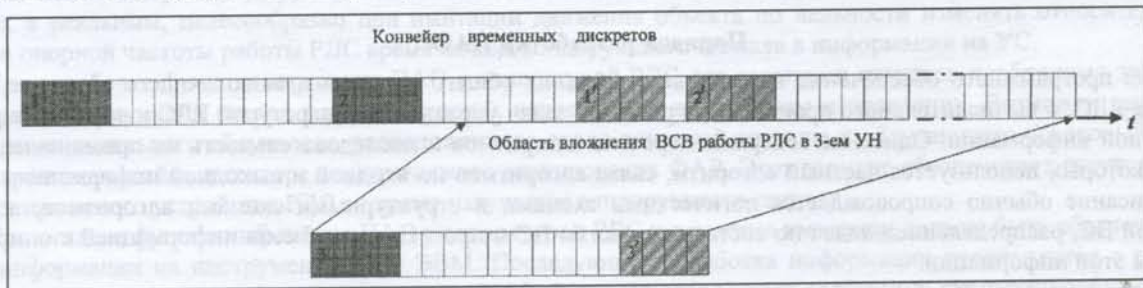


Рис. 2

Способ формирования временной диаграммы с помощью КВД позволяет использовать позиционное представление информации. При этом каждому ЭВСВ соответствует массив данных для управления аппаратурой, а позиция этого элемента в КВД – времени его исполнения. Формирование временной диаграммы осуществляет КПФВД с привязкой к опорной частоте работы РЛС.

Одно из основных требований, предъявляемых к системам обработки информации и планирования работы РЛС, состоит в сохранении работоспособности и выполнении своих функций, пусть даже с некоторым снижением качества, при изменении интенсивности входного потока. Поэтому система обслуживания должна оперативно адаптироваться к сложившейся радиолокационной обстановке и обеспечивать регулирование потока входной информации в соответствии с имеющейся пропускной способностью РЛС. Показано, что наличие обратной связи по времени простоя процессора исключает недогрузку, а по длине очереди заявок на обработку информации – перегрузку вычислительных средств РЛС [15]. Для минимизации среднего времени ожидания заявок в очереди на обработку и обеспечения отсутствия незапланированных потерь информации из-за ограничения длин очередей на обработку информации необходимо осуществлять диспетчеризацию вычислений [3,4,15].

Основными видами заявок на использование ресурсов РЛС являются:

- поиск радиолокационных объектов (РЛО) в заданной области обнаружения;
- реализация двухэтапной процедуры обнаружения РЛО в угловом направлении заданной области обнаружения, в котором обнаружен сигнал на первом этапе обнаружения;
- сопровождение обнаруженных радиолокационных объектов;
- поиск новых объектов в окрестности сопровождаемых;
- измерение характеристик собственного шума;
- калибровка приемно-измерительного тракта;
- контроль аппаратуры РЛС после включения аппаратуры;



текущий контроль аппаратуры РЛС;  
отсутствие излучения (пустой обзор).

Комплекс программ ФВД обеспечивает отсутствие незапланированных потерь информации путем повторного обслуживания угловых направлений, связанных с поиском радиолокационных объектов, по заявкам от КППО, КПВО либо системы передачи информации управления аппаратурой РЛС. Такие заявки формируются при выявлении недостоверной радиолокационной информации, при потере информации в процессе ее передачи внутри ВС либо при сбое передачи управляющей информации на аппаратуру РЛС для реализации работы в очередном тактовом интервале.

Время задержки реализации заявки на повторение обслуживания в УН не должно превышать нескольких тактов излучения зондирующих сигналов, что позволяет сохранить корреляцию радиолокационной обстановки при первичном и повторном обращениях в одно УН. Описанный механизм повторного обслуживания УН позволяет реализовывать процедуру двухэтапного обнаружения радиолокационных объектов.

Периоды обслуживания периодических заявок определяет КППЛ, распределяя зондирующие сигналы между всеми периодическими заявками и осуществляя регулирование входного потока информации по среднему времени простоя процессоров для обеспечения заданной загрузки.

Передачу информации между составными частями ВС по системной магистрали ВС целесообразно организовать следующим образом. После передачи по системной магистрали очередного сообщения определяется наличие заявок на передачу более приоритетного сообщения. Приоритет устанавливается большим для информации, передаваемой с большей частотой. Для минимизации времени ожидания передачи объем сообщений каждого вида минимизируется.

На входе каждого блока обработки информации реализуется контроль возможности записи результатов ее обработки в очередь заявок на обработку информации последующим блоком обработки. При отсутствии места в указанной очереди осуществляется выход из этого блока, что обеспечивает отсутствие потерь информации внутри системы обработки, которые происходят только в очередях на входе системы обработки информации.

### Порядок разработки ПАО

Разработка программного обеспечения начинается с создания общего алгоритма, включающего описание задач, решаемых РЛС, и вычислительного процесса при решении задач управления аппаратурой РЛС и обработки радиолокационной информации. Описание содержит перечень алгоритмов и последовательность их применения, условия, при которых используется частный алгоритм, связи алгоритмов по входной и выходной информации и т.п. Такое описание обычно сопровождается логическими схемами и структурными схемами алгоритмов, а также структурой ВС, распределением задач по составным частям ВС и протоколами обмена информацией с описанием структуры этой информации.

Разработка ПАО РЛС обычно включает следующие этапы:

- разработка технических заданий на разработку ПАО и его составных частей, включая описание алгоритмов;
- разработка технического проекта ПАО с выбором операционной системы;
- разработка частных программ и их автономная отладка;
- сборка и отладка комплексов программ имитации входных данных и воздействий, сборка комплексов программ и их отработка в режиме имитации в нереальном и реальном масштабах времени;
- отработка ПАО с аппаратурой РЛС с использованием программно-аппаратного имитатора сложной РЛО;
- отработка ПАО с аппаратурой РЛС;
- отработка ПАО в составе РЛС по реальным объектам.

Следует особо отметить важность отработки ПАО с использованием программно-аппаратного имитатора, обеспечивающего достаточно полную имитацию РЛО.

### Методы и средства отработки программного обеспечения

Этапы отработки ПАО можно разделить на две части – этапы автономной отработки программного обеспечения в режиме имитации, обеспечивающие отработку частных программ и групп программ, комплексов программ в режиме имитации и ПАО в режиме имитации; этапы отработки ПАО с аппаратурой РЛС. Для отработки ПАО используются инструментальная ЭВМ, КПИМ, аппаратура РЛС, аппаратура имитации отраженного сигнала и контрольно-измерительная аппаратура, в том числе многолучевой цифровой осциллограф, позволяющий запоминать несколько одновременно протекающих процессов для последующего их совместного анализа, например, типа «Tektronix».

Автономная отработка программных модулей и групп программ осуществляется с использованием автономных ЭВМ в среде выбранной ОСРВ по контрольным вариантам или с использованием имитаторов входных данных. Группы программ и отдельные программные модули, не прошедшие автономную предварительную отладку, заменяются в управляющей схеме программы организации вычислительного процесса комплекса программ, реализующей функцию «Ядра ОСРВ», программами имитации функций этих программ с максимальным их упрощением.



В частном случае – это перепись входных данных на место выходных данных с учетом служебной информации, которая формируется в процессе имитации.

Основными методами контроля являются проверки: выходных данных на совпадение с соответствующими «эталонными» параметрами, вычисленными в программах имитации; значений основных выходных данных на принадлежность диапазонам их изменения; на отсутствие в них непредусмотренных скачков; на их соответствие друг другу и т.п. Отработка ПАО требует фиксации привязки к реальному времени параметров всех процессов, событий, а также состояний очередей заявок на обработку информации. Для определения времени обработки информации необходимо фиксировать времена моментов окончания обработки информации и моментов ее поступления в систему обработки информации. Фиксация времени простоя процессоров ВС и состояния очередей заявок на обработку информации позволяет отработать систему регулирования интенсивности входных потоков информации.

Для совместной отладки нескольких комплексов программ разрабатываются специальные программы, реализуемые на инструментальной ЭВМ, в качестве которой может использоваться ПЭВМ типа РС/АТ с процессором имеющим быстродействие, превышающее быстродействие процессора, на котором реализуется КПФВД. ПЭВМ оснащается платами сопряжения с каналами обмена информацией и расширенной внешней периферией.

Механизмы регулирования потока входной информации как с аппаратуры, так и по каналам обмена между комплексами программ позволяют не заботиться о времени, выделяемом в процессе функционирования комплекса программ имитации, так как программное обеспечение адаптируется к темпу имитации. Эти механизмы обеспечивают глубокую проверку ПАО изделия при различном уровне загрузки вычислительных ресурсов ВС.

Для отработки функционирования ПАО с аппаратурой используется то обстоятельство, что информация о времени зондирования передается в расписании работы РЛС для организации обработки информации в ВС и УОИ. Передавая в расписании измененное время начала зондирующего сигнала с учетом скорости изменения дальности имитируемого объекта и оставляя неизменным время начала зондирующего сигнала в информации на УС, можно получить необходимую имитируемую дальность. Для создания условий функционирования аппаратуры и ПАО, близких к реальным, целесообразно при имитации движения объекта по дальности изменять относительно импульсов опорной частоты работы РЛС время начала зондирующего сигнала в информации на УС.

При отработке функционирования ПАО с аппаратурой РЛС для имитации сигналов необходимо завести излучаемый зондирующий сигнал в рупор (рупора), находящийся в известном направлении. Возможен вариант использования отдельного облучателя, расположенного около основной антенны и облучающего уголкового отражатель, перемещающийся в секторе электрического сканирования ФАР. Этот вариант обеспечивает отсутствие блокировки приемного устройства РЛС во время излучению зондирующего сигнала.

При отладке функционирования ПАО с аппаратурой РЛС и в режиме имитации должна быть обеспечена фиксация информации на инструментальной ЭВМ. Последующая обработка информации производится с помощью программ анализа процесса функционирования ПАО. В состав отладочных сообщений вводятся сообщения, фиксирующие «след» прерываний, факты прохождения программами «контрольных» точек с фиксацией в свернутом виде результатов, полученных после прохождения этих точек.

### Структура вычислительных средств

В недавнем прошлом вычислительные средства РЛС представляли собой комплекс отдельных вычислительных устройств, например УОИ, и многомашинного ВК, занимающих большие площади, имеющие каналы передачи информации с низкой пропускной способностью [1, 10, 11]. Развитие элементной базы дало возможность создания многопроцессорного компьютера для обработки информации с эффективным использованием быстродействия его элементов [16 – 18]. Пример структуры вычислительных средств РЛС, состоящих из процессорных плат, построенных на базе современных микропроцессорных элементов, размещенных в едином крейте объемом менее пяти литров, объединенных системной информационной магистралью МОИ ВС и обеспечивающих решение описанных выше задач и задачи отработки ПАО, представлен на рис. 3.

Ведущей по обмену информацией через МОИ ВС с процессорными платами ВС является плата формирования временной диаграммы работы РЛС (ПФВД). Для обеспечения работы ВС в реальном масштабе времени от синхронизатора РЛС на плату синхронизации (ПСНХ) поступают импульсы опорной частоты  $F_0$ , при появлении которых ПСНХ выставляет прерывание по системной магистрали МОИ ВС. Синхронизатор РЛС обеспечивает также формирование зондирующих сигналов и формирование частоты гетеродина  $F_ч$  для функционирования приемного устройства по информации, передаваемой по станционной магистрали МОИ через процессорную плату сопряжения (ПС) от ПФВД работы РЛС. Плата сопряжения может быть использована для обеспечения фиксации информации обмена с внешними абонентами на инструментальной ЭВМ. На каждое устройство РЛС от синхронизатора поступают импульсы опорной частоты  $F_0$  и импульсы частоты  $F_с$  для привязки к импульсам опорной частоты исполнения устройствами РЛС команд, поступивших по МОИ с указанием моментов их исполнения относительно импульсом опорной частоты  $F_0$ .



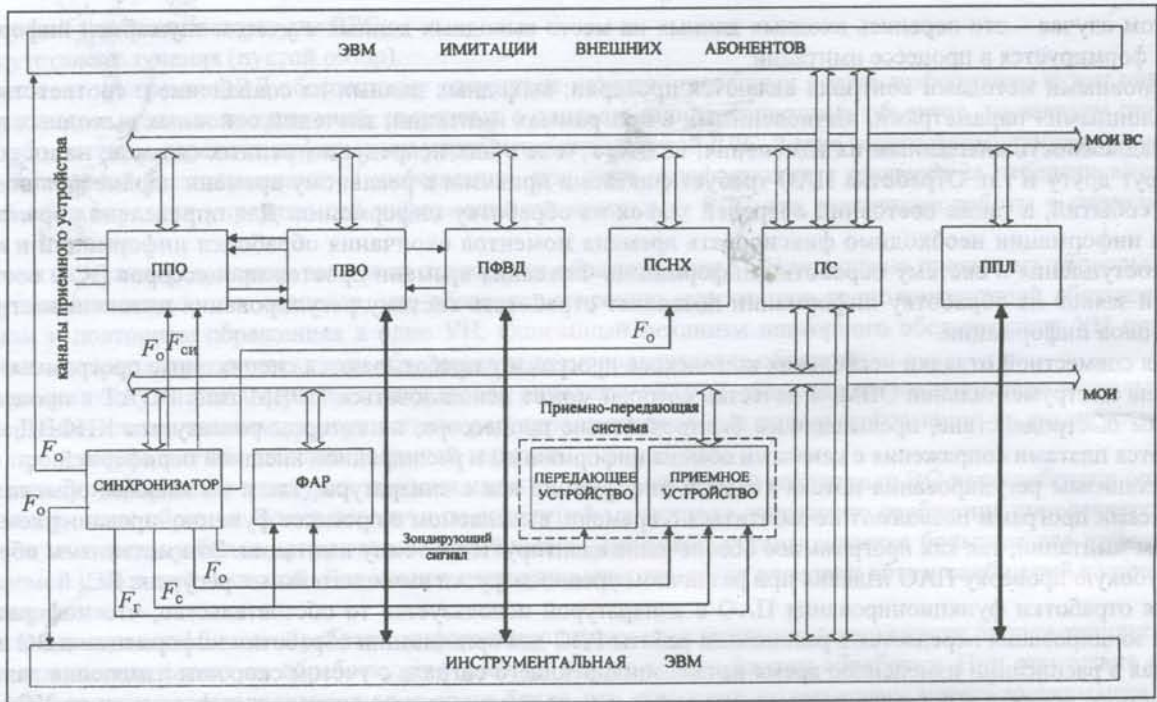


Рис. 3

Аналоговые сигналы с выходов приемного устройства поступают на плату первичной обработки (ППО), включающую аналогово-цифровое преобразование (АЦП) с частотой  $F_{си}$ , поступающей от синхронизатора. Привязка начала интервала квантования сигнала ко времени осуществляется к поступающим от синхронизатора импульсам опорной частоты  $F_0$ , информация привязки которых к внутреннему времени ВС передается по МОИ ВС в расписании. Согласованная фильтрация и обнаружение сигналов на выходе процедуры фильтрации осуществляется на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) типа XCV200E – XCV600E семейства Virtex-E фирмы Xilinx. Формирование параметров обнаруженных объектов, полученных по результатам обнаружения сигналов, происходит на процессорах цифровой обработки сигналов типа SHARC (ADSP-21062L) фирмы Analog Devices с их передачей на ПВО через параллельные коммуникационные Link-порты. Информация для обработки сигналов в канальном интервале, формируемая ПФВД для обработки информации ППО и используемая также ПВО, поступает через МОИ ВС на плату ПВО и с нее на плату ППО по отдельному Link-порту. На ППО реализуется комплекс программ КППО.

Плата вторичной обработки обеспечивает решение задач комплексом программ КПВО и реализуется на процессорах цифровой обработки сигналов типа SHARC (ADSP-21062L) фирмы Analog Devices, связанных друг с другом через параллельные коммуникационные Link-порты и «шину кластера». Совместно с процессорами ППО эти процессоры образуют вычислительную сеть. Комплекс ПВО соединен с инструментальной ЭВМ для обеспечения фиксации информации функционирования КПВО.

Плата формирования временной диаграммы работы, на которой реализуется комплекс программ КПФВД, представляет собой одноплатный компьютер в VME-конструктиве на базе микропроцессора типа «Pentium» с Flash-памятью для хранения программного обеспечения РЛС и каналами «Ethernet», RS232 и «USB». Плата ФВД соединена с инструментальной ЭВМ для обеспечения фиксации информации функционирования КПФВД и текущего ее отображения. В интересах ускорения передачи информации расписания работы в КИ для обработки сигнала в ППО и обработки информации в ПВО целесообразно, по нашему мнению, ввести для ее передачи в ПВО отдельный Link-порт, а для ускорения передачи заявок на повторное обслуживание УН – другой Link-порт, включая, таким образом, ПФВД в упомянутую выше вычислительную сеть.

Плата планирования работы РЛС (ППЛ), предназначенная для решения комплексом программ КППЛ задач анализа радиолокационной обстановки и распределения ресурсов РЛС путем формирования списка заявок на использование канальных интервалов, передаваемого в ПФВД по МОИ ВС, представляет собой одноплатный компьютер в VME-конструктиве на базе микропроцессора типа «Pentium» с Flash-памятью для хранения копии программного обеспечения РЛС и каналами передачи информации: «Ethernet», RS232 и «USB». Плата планирования работы соединена с инструментальной ЭВМ для обеспечения фиксации информации функционирования КППЛ.

Инструментальная ЭВМ обеспечивает фиксацию информации по специальным выделенным каналам и отображение информации функционирования ПАО и аппаратуры РЛС. ЭВМ имитации внешних абонентов РЛС



обеспечивает отработку ПАО и автономную работу РЛС по реальным объектам. От синхронизатора РЛС на нее поступают импульсы опорной частоты  $F_0$ .

- Рассмотрен ряд проблем, возникших при создании ПАО и вычислительных средств действующих и разрабатываемых современных многофункциональных РЛС с ФАР сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн. Эти проблемы явились одними из основных, которые пришлось решать в процессе создания и отработки в реальных условиях ПАО двухдиапазонной радиолокационной системы, состоящей из РЛС СМДВ «Аргунь» и РЛС ММДВ «Руза» [1, 10, 11].

Рассмотренные принципы создания ПАО многофункциональных РЛС с ФАР отработаны в реальных условиях и показали свою эффективность.

## Литература

1. *Tolkachev, A.A., Levitan, B.A., Solovjev, G.K. et al. A Megawatt Power Millimeter-Wave Phased-Array Radar.* – IEEE AES Systems Magazine, July, 2000.
2. *Конторов Д.С., Голубев-Новожилов Ю.С.* Введение в радиолокационную системотехнику. – М.: Сов. радио, 1971.
3. *Кузьмин С.З.* Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Радио и связь, 1986.
4. *Коллин К.К., Липаев В.В.* Проектирование алгоритмов управляющих ЦВМ. – М.: Сов. радио, 1970.
5. *Клейнрок Л.* Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979.
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, 1995.
7. *Липаев В.В., Фидловский Л.А. и др.* Отладка систем управляющих алгоритмов реального времени. – М.: Сов. радио, 1974.
8. *Жданов А.А.* Современный взгляд на ОС реального времени. – Мир компьютерной автоматизации, 1999, №1.
9. *Сорокин С.* Системы реального времени. – Современные технологии автоматизации, 1997, №2.
10. *Толкачев А.А.* Миф о невидимости и неуязвимости ГЧ БР развеян в пустыне Бетпак-Дала. Первые радиолокационные наблюдения баллистических ракет. – Рубежи обороны – в Космосе и на Земле. Очерки истории ракетно-космической обороны /Автор-составитель Н.Г.Завалий. – М.: Вече, 2003.
11. *Первов М.* Системы ракетно-космической обороны России создавались так. – М.: АВИАРУС-XXI, 2003.
12. *Липаев В.В.* Проектирование математического обеспечения АСУ (системотехника, архитектура, технология). – М.: Сов. радио, 1977.
13. *Золотарев М.М., Прусаков А.В., Фарбер В.Е.* К вопросу выбора заявок на обслуживание радиолокационных объектов в многоканальных РЛС с ФАР. – Радиопромышленность, 2002, №3.
14. *Данкан Янг.* WMEBus на военном рынке. – Мир компьютерной автоматизации, 1998, №3.
15. *Золотарев М.М., Прусаков А.В., Фарбер В.Е.* К вопросу регулирования потока информации и диспетчеризации вычислений при обработке радиолокационной информации. – Радиотехника и управление, 2002, №7 – 9.
16. *Нэгре Р.* EUROPRO: Новый открытый многопроцессорный VME-компьютер для интенсивной обработки. – Мир компьютерной автоматизации, 1997, № 4.
17. *Золотарев М.М., Прусаков А.В., Фарбер В.Е.* К вопросу реализации временного разделения каналов обслуживания объектов в МРЛС с ФАР. – Радиопромышленность, 2005, № 1.
18. *Золотарев М.М., Никифорова Е.С., Фарбер В.Е.* Использование многопроцессорных комплексов в информационных радиотехнических средствах. – Материалы семинара «Вычислительные системы на базе транспьютеров и параллельные вычисления». – М.: Общество «Знание» РСФСР, 1992.

Поступила 13 декабря 2005 г.