

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

**ИЗ ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ ПРОГРАММНО-  
АЛГОРИТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
СОВРЕМЕННЫХ МНОГОКАНАЛЬНЫХ  
РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ С ФАР**

Летом 1965 года Генеральным Конструктором Кисунько Г.В. перед коллективом молодых сотрудников, выпускников МГУ, МИФИ, МФТИ, МАИ и других столичных вузов, была поставлена задача создания мощной многофункциональной РЛС с фазированной решеткой, которая должна была прийти на смену обычным РЛС с зеркальной антенной. Кроме аппаратурных проблем, естественно, возникли вопросы создания принципиально нового программно-алгоритмического обеспечения (ПАО) для таких РЛС.

Существовавшие в то время радиолокационные средства имели аналоговые системы управления с отображением отраженных сигналов в процессе поиска на секторных индикаторах и индикаторах абсолютной дальности. Отсутствие ФАР и относительно малопроизводительная вычислительная техника не позволяли обеспечить одновременное сопровождение многих объектов.

При этом деление ресурсов радиолокатора по поиску и сопровождению объектов осуществлялось путем последовательного выделения импульсов передающего устройства и интервалов приема на поиск и последовательное сопровождение всех наблюдаемых объектов независимо от их пространственного расположения, да и обработка информации об объектах осуществлялась также без учета их пространственного расположения. При малом количестве хорошо разрешенных по углам или дальности объектов это слабо влияло на результирующие характеристики радиолокационных средств, но резко упрощало процедуры их управления и обработки информации.

Появление ФАР потребовало иного подхода к данной задаче. Потребовалось рассматривать ресурсы радиолокатора по поиску и сопровождению как общие ресурсы для всех объектов, находящихся в его рабочей зоне, а также ресурсы ЦВМ как общие ресурсы для обработки информации, получаемой от этих объектов.

Увеличение количества объектов, появление плохо разрешенных объектов, групповых объектов и пространственно протяженного помехового фона (как активного, так и пассивного) потребовали более гибкого управления ресурсами многоканальных радиолокационных средств (МРЛС) и обработки радиолокационной информации с учетом складывающейся радиолокационной обстановки.

В разработанном виде программно-алгоритмическое обеспечение радиолокационных средств представляло собой систему массового обслуживания как в части обслуживания заявок на использование ресурсов РЛС (импульсов передатчика и интервалов приема для реализации поиска, сопровождения радиолокационных объектов и помех, служебных операций по оперативному контролю и юстировке аппаратуры РЛС), так в части обеспечения обслуживания заявок на обработку радиолокационной информации, получаемой в процессе использования заявок на использование ресурсов РЛС.

Заявки на использование ресурсов РЛС делятся на периодические (поиск, сопровождение и т.п.) и разовые, формируемые в процессе обработки радиолокационной информации (дообнаружения при двухэтапной процедуре обнаружения, захват траектории и т.п.).

Среди разовых и периодических заявок имеется вид заявки, называемый "Пустой обзор" (пропуск использования импульса передатчика для радиолокационных наблюдений или физическое его отсутствие). Этот вид обслуживания заявок на использование ресурсов РЛС позволяет реализовать регулирование входного потока информации при перегрузках системы обработки радиолокационной информации.

Заявки на использование ресурсов РЛС записываются в список на обслуживание. Положения заявки в этом списке определяет приоритет по выбору заявок на обслуживание, у которых подошло время на обслуживание очередным планируемым импульсом передатчика.

Заявку в этом списке характеризует время предыдущего обслуживания и период обслуживания.

После обслуживания периодической заявки осуществляется коррекция времени предыдущего обслуживания. После обслуживания разовой заявки она изымается из списка обслуживаемых заявок, а время предыдущего обслуживания всех периодических заявок корректируется на время, соответствующее количеству периодов излучений передатчика, использованных для обслуживания разовой заявки.

Периоды обслуживания периодических заявок на использование ресурсов РЛС вычисляются путем распределения импульсов передатчика на заданном текущем интервале времени между всеми периодическими заявками списка заявок на обслуживание.

Заявки на обработку радиолокационной информации формируются в процессе приема информации из каналов приемного устройства, с внешних абонентов РЛС, определяющих либо корректирующих тактику и информацию для поиска объектов, а также по результатам обработки информации в группах программ (совокупность логически связанных программ), имеющих различный приоритет по их запуску.

В каждой группе программ имеется очередь для записи заявок на обработку информации.

Для групп программ, реализуемых на одном процессоре, определяется приоритет их запуска по состоянию очередей заявок на обработку в каждой группе (количество свободного и занятого места в очереди) и времени ожидания заявок в очереди по критерию минимума среднего времени ожидания заявок в очереди.

После каждого приема новой порции информации приоритета заявок на обработку пересматриваются.

В ранее существующих системах обработки информации и управления РЛС существовала возможность неконтролируемой потери информации при поиске и сопровождении объектов, что часто приводило к сбоям функционирования системы вследствие невозможности восстановления потерянной информации. Наличие указанного выше способа реализации заявок на использование ресурсов РЛС позволяет исключить неконтролируемые потери информации введением регулирования входного потока информации.

Регулирование входного потока информации по среднему времени простоя процессора на заданном текущем интервале времени путем изменения периодов обслуживания периодических заявок осуществляется для обеспечения заданной загрузки процессоров, используемых для обработки.

Для исключения незапланированных потерь информации (потерь из-за отсутствия места для записи заявок на обработку информации) используется "аварийное" регулирование входного потока информации по состоянию очередей заявок на обработку информации. При этом время упреждения планирования использования импульсов передающего устройства должно быть достаточно малым, чтобы не организовывать больших очередей, приводящих к большим запаздываниям при обработке информации.

Время упреждения на 2...3 периода следования импульсов передающего устройства легко достигается даже при больших вариациях времени планирования путем динамического контроля времени упреждения относительно текущего времени на его достаточность для реализации планирования очередной заявки на использование ресурса РЛС.

Одним из основных ресурсов РЛС является свободное время временной диаграммы работы РЛС, оставшееся после размещения импульсов передатчика и интервалов приема для обслуживания заявки на использование энергетических ресурсов РЛС.

Важным является рассмотреть принцип размещения интервалов, занятых функционированием отдельных устройств РЛС (передатчика, приемника ФАР и др.) называемых элементами временной связки (ЭВСВ). Временная связка ВСВ (совокупность ЭВСВ) реализует полный цикл обслуживания заявки. Временная диаграмма работы РЛС представляется в виде последовательности дискретов времени фиксированной длительности на текущем интервале одна секунда. Эта последовательность называется конвертер временных дискретов (КВД).

Каждому дискрету КВД соответствует один разряд: "1" соответствует занятости дискрета, а "0" соответствует его незанятости. Все занятые дискреты имеют описание типа занятости и ссылку на информацию, которую необходимо передать на устройство РЛС для его функционирования по реализации заявки на использование ресурсов РЛС.

Размещение ВСВ во временной диаграмме осуществляется путем занятия свободных дискретов КВД.

Предварительно проверяется возможность вложения ВСВ в КВД путем логического умножения шаблона ВСВ (фрагмента КВД, соответствующего ВСВ) на тот участок КВД, куда пытаются разместить ВСВ. Нулевой результат соответствующей возможности размещения ВСВ. При ненулевом результате осуществляется поиск свободного места в КВД с учетом возможной подвижки интервала излучения.

В ЭВСВ как излучение, так и прием входит формирование диаграммы ФАР так и другие служебные операции, занимающие ненулевое время (обмены и т.п.).

Следует вспомнить, что в первых цифровых радиолокационных средствах вследствие резко ограниченного объема памяти использовалось только параметрическое представление информации. Это в свою очередь приводило к резкому возрастанию требуемого быстродействия ЦВМ из-за необходимости реализации переборов и упорядочения объектов при параметрическом их описании.

Позиционное представление информации об объектах стало возможным использовать только на этапе резкого возрастания оперативной памяти ЦВМ. Использования позиционного представления информации позволяет сократить время на ее обработку за счет исключения переборных операций и использования при ее обработке логических операций: логического умножения, сложения и т.п.

Построение системы обработки информации и управления в виде системы массового обслуживания позволяет легко отлаживать систему и легко ее дорабатывать путем введения новых заявок на использование ресурсов РЛС и новых групп программ обработки информации, поступающей при реализации этих заявок.

Наличие регулирования входного потока информации позволяет обеспечить достаточно полную загрузку вычислительной системы РЛС по быстродействию и сделать обработку устойчивой к перегрузкам информацией. Особенно важным является, что обработка полностью формализуется из-за отсутствия неоговоренных вариантов потерь информации.

Использование позиционного представления информации позволяет резко сократить требования по быстродействию вычислительных средств, но связано с необходимостью проработки алгоритмов обработки такого вида информации.

Необходимо отметить, что позиционное представление информации дает в руки программиста материальный носитель, в котором фиксируется весь процесс обработки этой информации. Более того, при параметрическом представлении информации для отладки системы ее обработки программист вынужден специально создавать носитель хода обработки этой информации.

В интересах создания программного обеспечения такого рода МРЛС Кисунько Г.В. содействовал организации в Академгородке г. Новосибирска КБ системного программирования (КБСП), используя научный потенциал Сибирского отделения Академии наук СССР. В начале 70-х годов в КБСП сформировался дееспособный коллектив выпускников Новосибирского Университета, большинство членов которого прошли офицерскую военную службу после окончания Университета.

Коллектив этот представляет Балаш Б.А., Деревянкин С.Б., Минкин Я.С., Григорьев Ю.Н., Эйсимонт М.И., Афанасьев А.П., Гаврилов Ю.А. и др. Возглавлял это КБ Нечипуренко М.И., а позднее Моисеенко В.Н.

Коллективом разработчиков алгоритмов МРЛС, представленным Толкачевым А.А., Айтхожиным Н.А., Марковым В.А., Золотаревым М.М., Фарбером В.Е., Чебаненко В.В., Говориным В.А., Квашиной Т.И., Белоглавовым В.В. и др., совместно с коллективом программистов к концу 1974 г. было создано ПАО современной МРЛС, обеспечивающее поиск и сопровождение до десяти объектов в различных радиолокационных обстановках на вычислительных средствах, построенных на базе трех ЦВМ 5Э926 разработки ИТМ и ВТ производительностью порядка двухсот тысяч операций в секунду каждая. При этом на одной из ЦВМ размещались два комплекса программ - комплекс программ траекторной обработки и комплекс программ реализации заявок на использование ресурсов аппаратуры РЛС. Это ПАО обеспечивало регулярные радиолокационные наблюдения до конца 1985 г. В этом ПАО были реализованы основные вышеуказанные принципы построения ПАО современных МРЛС.

Начиная с 1983 г. коллектив разработчиков аппаратуры и алгоритмов МРЛС совместно с коллективом программистов КБСП создавал ПАО радиолокационного комплекса, построенного на базе двух МРЛС различных диапазонов волн. Это ПАО реализовалось на вычислительных средствах, построенных на базе шести ЭВМ производительностью порядка трех миллионов операций в секунду каждая. ПАО этого радиолокационного комплекса способно обеспечивать обнаружение и сопровождение до нескольких десятков радиолокационных объектов. При этом было реализовано следующее:

- запаздывание по реакции на изменение радиолокационной обстановки до 2...3 периодов следования зондирующих импульсов;
- обеспечение работы по объектам на любой развертке дальности, определяемой диапазоном ее изменения за счет введения конвейера временных дисcretов, на котором размещаются временные связи;
- обеспечена траекторная обработка информации от двух МРЛС на одной ЭВМ в реальном масштабе времени, что обеспечило возможность совместной обработки информации двух МРЛС.

Коллектив программистов КБСП, разработчиков ПАО радиолокационного комплекса, представляли Афанасьев А.П., Пытлев О.И., Кривцова Т.М., Кравец А.П., Минкин Я.С., Брусиловский П.В., Фроленков А.М., Быковский О.В., Кривцов М.А.

Коллектив разработчиков алгоритмов радиолокационного комплекса представляли Толкачев А.А., Золотарев М.М., Фарбер В.Е., Говорин В.А., Белоглазов В.В., Вейцель В.В., Соколинский А.Г. и др. При этом в значительной мере был использован задел, полученный при разработке ПАО МРЛС.

Унификация комплексов первичной обработки информации и реализации заявок на использование ресурсов аппаратуры МРЛС позволили в дальнейшем провести испытания второй МРЛС в кратчайшие сроки.

При создании ПАО МРЛС и ПАО радиолокационного комплекса были отработаны методы отладки, проверки и испытаний ПАО, в том числе с использованием созданного базового имитатора, позволяющего испытывать все комплексы программ и обеспечивающего отработку их взаимного функционирования в реальном масштабе времени, а также их стыковку с аппаратурой МРЛС.

Для отладки и испытаний ПАО разработана система кадров фиксации информации в каждом комплексе программ, фиксации хода прерываний (след прерываний) вычислительного процесса, а также программное обеспечение обработки кадров фиксации.

После стыковки СЦВМ Д890 с ПЭВМ была реализована обработка кадров фиксации на ПЭВМ. Это позволило расширить возможности обработки результатов радиолокационных наблюдений и испытаний ПАО. В создании системы обработки на ПЭВМ ЕС 1841 наибольший вклад внесли Бурьяница В.В., Никаноров Д.М., Топчиев С.А., Ампилов О.В. и др.

Известный вклад коллектив разработчиков ПАО внес в структуру построения вычислительных средств радиолокационного комплекса современных МРЛС, доработки аппаратуры, обеспечившие ее функционирование в реальном масштабе времени с регулированием потока информации за счет уменьшения участка обработки сигнала до единиц интервалов квантования сигнала.

Необходимо отметить, что длительное содружество коллективов алгоритмистов и тематиков АО "Радиофизика" и программистов КБСП обеспечило эффективную отработку ПАО, ее стыковку с аппаратурой МРЛС, а также отработку самой аппаратуры МРЛС.