

В.П. ВОЛОБОЕВ, В.П. КЛИМЕНКО, **В.Д. ЛОСЕВ**

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ, УПРАВЛЕНИЯ, ОТОБРАЖЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ДВУХКООРДИНАТНОЙ РАДИЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ КРУГОВОГО ОБЗОРА

Abstract: In article the question of development of hardware-software complex (HSC) of two-coordinate radar station of the circular review independent of hardware is considered on the basis of computer system of processing signals, management, display and the control. The conceptual model of functioning HSC is offered, requirements to the hardware are formulated, developed on the basis of computer system HSC and the technique of selection of hardware is offered. The example of development HSC coastal radar of the circular review is given.

Key words: system of supervision and the control of surface conditions, radar of the circular review, a hardware-software complex, computer system, conceptual model, hardware, technical realization.

Анотація: У статті розглянуте питання розробки незалежного від апаратних засобів програмно-апаратного комплексу (ПАК) двухкоординатної радіолокаційної станції (РЛС) кругового огляду на базі комп'ютерної системи обробки сигналів, керування, відображення й контролю. Запропоновано концептуальну модель функціонування ПАК, сформульовано вимоги до апаратних засобів розроблювального на базі комп'ютерної системи ПАК і запропонована методика підбору апаратних засобів. Наведено приклад розробки ПАК берегової РЛС кругового огляду.

Ключові слова: система спостереження й контролю надводної обстановки, радіолокаційна станція кругового огляду, програмно-апаратний комплекс, комп'ютерна система, концептуальна модель, апаратні засоби, технічна реалізація.

Аннотация: В статье рассмотрен вопрос разработки независимого от аппаратных средств программно-аппаратного комплекса (ПАК) двухкоординатной радиолокационной станции (РЛС) кругового обзора на базе компьютерной системы обработки сигналов, управления, отображения и контроля. Предложена концептуальная модель функционирования ПАК, сформулированы требования к аппаратным средствам разрабатываемого на базе компьютерной системы ПАК и предложена методика подбора аппаратных средств. Приведен пример разработки ПАК береговой РЛС кругового обзора.

Ключевые слова: система наблюдения и контроля надводной обстановки, радиолокационная станция кругового обзора, программно-аппаратный комплекс, компьютерная система, концептуальная модель, аппаратные средства, техническая реализация.

1. Введение

Современные задачи системы наблюдения и контроля надводной обстановки морского пограничного пространства и побережья существенно усложнились в сравнении с советской системой охраны границы и морского пространства. В настоящее время система наблюдения и контроля надводной обстановки будет использоваться в решении задач по борьбе с нелегальной миграцией, контроля за рыболовством и борьбы с браконьерством, противодействия терроризму, трансграничной преступности, незаконного оборота наркотиков и оружия. Следует предполагать активное применение системы при спасении людей на море и при экологическом контроле в прибрежной акватории. Все это выдвигает повышенные требования к техническим средствам контроля и наблюдения.

Для этих целей применяются, в основном, двухкоординатные радиолокационные станции (РЛС) кругового обзора с зондирующим сигналом типа простой импульсный сигнал малой длительности и большой скважности. Станции могут быть расположены как на берегу, так и на кораблях, и работать как в автономном режиме, так и в системе сбора информации, наблюдения и контроля надводной обстановки.

За несколько десятилетий структурная схема таких РЛС была отработана и стала практически классической [1]. Она включает в себя антенну, передатчик, приемник и программно-аппаратный комплекс (ПАК), который обеспечивает обработку и отображение радиолокационной информации, управление режимом работы РЛС, связь и обмен информацией с внешними пользователями и контроль работоспособности РЛС. В табл. 1 приведены основные параметры РЛС кругового обзора производства дальнего, ближнего зарубежья и отечественного, а также, ссылки на источники информации. Как следует из анализа параметров, приведенных в таблице, к настоящему времени четко сформулировано функциональное назначение и определены параметры антенны, передатчика и приемника. За счет внедрения новейших технологий осуществляется улучшение параметров и уменьшение габаритов конструкций. Область применения и эффективность работы РЛС в значительной мере зависит от того, насколько реализованные в ПАК методы обработки радиолокационной информации, возможности связи и обмена информацией с внешними пользователями удовлетворяют современным требованиям системы наблюдения и контроля надводной обстановки. Кроме того, из результатов таблицы следует вывод о возможности автономной разработки ПАК.

Качественный прогресс в увеличении быстродействия и памяти компьютеров общего назначения при сохранении и даже уменьшении цены на них расширяет область их применения. В связи с этим стала актуальной разработка независимого от аппаратных средств ПАК, т.е. на базе универсальной вычислительной техники (компьютера и стандартного периферийного оборудования), удовлетворяющей требованиям современной системы наблюдения и контроля надводной обстановки морского пограничного пространства и побережья. Такой подход сократил бы время разработки ПАК, облегчил техническое обслуживание РЛС в процессе эксплуатации и, кроме того, обеспечил возможность поддерживать РЛС на уровне требований времени только заменой устаревшей вычислительной техники на более современную и адаптацией или модернизацией программного обеспечения к ней, а не дополнительной разработкой специализированной вычислительной техники.

Проектирование ПАК начинается прежде всего с разработки концептуальной модели его функционирования. На этом этапе учитываются свойства современной задачи системы наблюдения и контроля надводной обстановки морского пограничного пространства и побережья и выполняется оценка технической реализуемости ПАК, ориентированного на применение универсальной вычислительной техники.

2. Концептуальная модель функционирования ПАК

Это наиболее общий вид модели, с которым имеет дело разработчик, в том смысле, что модели этого вида практически не привязаны к компьютерным реалиям (абстрагированы от них). Концептуальные модели не являются математическими моделями с их универсальностью. На этом

Таблица 1. Параметры РЛС фирм дальнего, ближнего зарубежья и отечественной

№ п/п	Фирма Название РЛС Ссылка на источник информации	Антенна	Передатчик			Приемник		ПАК	
		Скорость вращения, об/мин	Мощность импульса, КВт	Длительность зондирующего импульса, мкс	Частота повторения, имп/с	Промежуточная частота, МГц	Полоса пропускания, МГц	Шкала дальности, миль	Эффективный диаметр пространства отображения монитора, мм
1	STN ATLAS MARINE ELECTRONICS GMBH(Германия, Гамбург). ATLAS 1000 (1002, 1006, 1009) [2]	23 макс. 46	12,5 или 25	0,08 0,15 0,3 0,5 1,0	2000 1000 1000 1000 500	60	12	0,25-0,5-0,75 1,5 3 6 12-24-48-96	250 340
2	RAYTHEON MARINE GMBH (Германия, Киль). PATHFINDER/ST MK2 [3]	22/24 макс. 40	25	0,06 0,25 0,5 1,0	3000 2000 1000 750	60	25 25 4 4	0,25- 0,5- 0,75- 1,5 3- 6 12- 24 48- 96	250 340
3	FURUNO ELECTRIC CO.,LTD (Япония, Нишиноми). ARPA FAR-2815 ARPA FAR-2825 [4]	26/ 21 макс. 42	12 или 25	0,08 0,2 0,4 0,7 1,2 1,2	2200 2200 1000 1000 600 500	60	28 28 28 3 3 3	0,125- 0,25- 0,50 0,75- 1,5 3- 6 12 24- 48 96	360
4	KONGSBERG MARITIME SHIP SYSTEMS A.S.,DIVISION SHIP AUTOMATION (Норвегия, Гортен). DATABRIDGE 10 [5]	около 20	12 или 25	0.06 0.06 0.07 0.25 0.25 0.28 0.8	3000 3000 3000 750/1500 750/1500 750/1500 750 750	50	21 21 21 4,8 4,8 4,8 1,5	От 0,125 до 96	250 345 370
5	LITTON MARINE SYSTEMS B.V.,U.K.BRANCH(Великобритания, Нью Малден) BRIDGEMASTER E RADAR/APRA [6, 7]	28 макс. 45	25	0,025- 0,05 0,1- 0,25 0,25- 0,5 1- 2- 4- 8-16				0,125-0,25 0,5- 0,75 1,5- 3 6- 12- 24- 48- 96	180 250 340
6	SI-TEX MARINE ELECTRONICS (США, Сент-Питерсберг, Флорида) RADARpc-25.4/25.6/25.9 [8]	24	25	0,08 0,3 0,6 1,2	2000 1300 800 450	60	20 15 15 5	0,125- 0,25- 0,5 0,75- 1,5- 3- 6 12- 24- 48 96	
7	НВО "ГОРИЗОНТ" (Россия, Ростов/Дон) НАЯДА-34М [9]	24	25	0,06 0,35 0,8	2800 1400 700	60	20 20 4	0,125-96	190
8	КДЗ "БУРЕВЕСТНИК" (Украина, Киев) MP-244	20	20	0,07 0,25 0,90	3000 1500 750	60	18 3,5 3,5	0,25- 0,5- 1 2- 4 8- 16- 32- 64	260

этапе проектируется схема понятий прикладной области в их взаимосвязи. Считается, что концептуальная модель позволяет существенно формализовать технологию разработки математических моделей, с помощью которых затем синтезируются основные элементы системы и разрабатывается комплекс программ, реализующий прикладные информационные технологии. Как следует из литературы, концептуальный подход к разработке ПАК РЛС раньше не применялся.

Независимо от того, какие технические требования предъявляются к двухкоординатной РЛС кругового обзора, в ПАК должны быть реализованы задачи приема, обработки и отображения радиолокационной информации, управления режимом работы РЛС, управления каналами связи и обмена информацией с внешними пользователями, контроля работоспособности РЛС, решения прикладных задач, документирования и архивирования радиолокационной информации и работы оператора. При работе РЛС в системе сбора информации возможно делегирование некоторых из перечисленных задач на другие уровни системы или даже применение РЛС в режиме дистанционного управления, т.е. в зависимости от сферы применения меняется только содержательное наполнение задач, выполняемых ПАК РЛС.

Применительно к современной задаче наблюдения и контроля надводной обстановки перечисленные задачи имеют следующие функциональное назначение и взаимосвязи между собой.

При приеме радиолокационной информации аналоговый видеосигнал из приемника поступает на вход аналого-цифрового преобразователя, где преобразуется в дискретный и накапливается в реальном масштабе времени. Накопленные дискретные сигналы для задачи обработки радиолокационной информации представляют собой так называемую „сырую” радиолокационную информацию.

Обработка радиолокационной информации состоит из предварительной обработки информации, где выполняется фильтрация „сырой” радиолокационной информации. На этапе первичной обработки информации решается задача обнаружения целей. Задача сопровождения целей и расчета параметров сопровождаемых целей выполняется на этапе вторичной обработки радиолокационной информации. В настоящее время идентификацию целей можно выполнить по запросу или получить из Автоматической Идентификационной Системы (АИС) [10]. На радиолокационном посту, используя штатные средства связи, запрашивается необходимая информация непосредственно у объекта, который идентифицируется как цель на экране РЛС. В системе АИС, разработанной для повышения безопасности мореплавания в открытом море и прибрежных водах, применяется автоматический обмен навигационной и рейсовой информацией между судами и береговыми станциями.

При отсутствии возможности идентификации целей выполняется их классификация.

Классификация целей может быть выполнена по сигналу ГО (Государственное Опознание) или по отраженному радиолокационному сигналу. С помощью сигнала ГО осуществляется распознавание цели как „свой” или „чужой”. По отраженному радиолокационному сигналу цель классифицируется как большая или малая. Следует заметить, что теория классификации целей по отраженному радиолокационному сигналу еще недостаточно разработана.

Облик экрана должен удовлетворять требованиям стандарта ИМО (Международной морской организации) [10]. Кроме информации, выводимой в соответствии с требованиями ИМО на экран дисплея по требованию оператора, выводится информация, необходимая для настройки РЛС на оптимальный режим работы и для принятия решений в процессе работы РЛС, результаты решения прикладных задач, а также „сырая” радиолокационная информация.

В процессе работы РЛС выполняется архивирование „сырой” радиолокационной информации, информации, полученной в процессе обработки и действий оператора за пультом управления. Основное назначение архивирования есть выполнение функции „черного” ящика. Должна быть предусмотрена возможность просмотра результатов архивирования как на самой РЛС, так и у внешнего пользователя. Кроме того, архивированная информация, в частности, „сырая” радиолокационная информация может использоваться при работе РЛС в режиме тренажера.

В современной задаче системы наблюдения и контроля надводной обстановки морского пограничного пространства и побережья необходимо не только обнаруживать нарушителя, но и документировать произошедшее нарушение. Для этого должны быть предусмотрены соответствующие программные и технические средства.

Взаимодействие с другими системами и связь с внешними пользователями выполняется с помощью технических средств (телефон, локальная сеть и т.п.). Кроме того, должно быть предусмотрено применение внешних носителей (запись информации на внешние носители и чтение с них).

При работе РЛС необходим контроль функционирования антенны, передатчика, приемника, компьютера и периферийного оборудования.

Оператор с пульта управляет режимом работы РЛС, выводом информации на экран, включением и настройкой параметров задач фильтрации, обработки радиолокационной информации на работу в оптимальном режиме, решением прикладных задач, каналами связи и обмена информацией с внешними пользователями, выдачей соответствующей документации, фиксирующей нестандартные ситуации, возникающие в зоне ответственности, просмотром архивированной информации.

Концептуальная модель ПАК, которая учитывает функциональное назначение перечисленных задач и их взаимосвязи между собой, приведена на рис. 1.

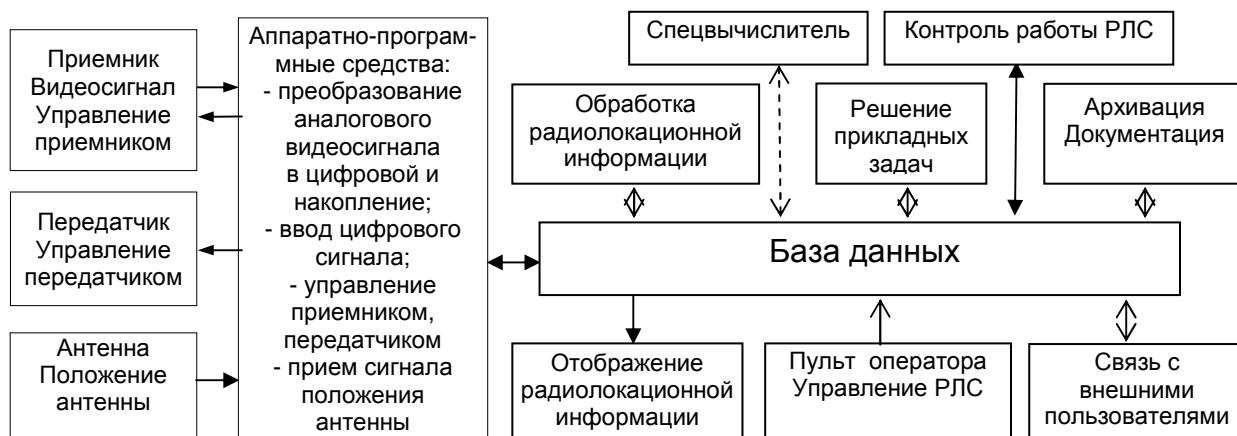


Рис. 1. Концептуальная модель ПАК РЛС кругового обзора

Основные особенности концептуальной модели следующие. Модульный принцип организации функционирования ПАК. Функциональное назначение модулей соответствует задачам, выполняемым ПАК, за исключением того, что модуль аппаратно-программных средств содержит технические и программные средства, необходимые для выполнения следующих задач:

- преобразование аналогового видеосигнала в дискретный и его накопление в преобразователе;
- ввод накопленного сигнала из преобразователя в базу данных;
- управление работой преобразователя;
- управление работой приемника и передатчика;
- прием сигнала, указывающего положение антенны;
- прием информации от АИС или сигнала ГО.

Отличительной чертой концептуальной модели ПАК есть то, что для хранения как принимаемой, так и получаемой в процессе решения задач ПАК информации, применяется база данных. Это предоставляет возможность, во-первых, каждому модулю иметь доступ ко всей информации, находящейся в базе данных, а, во-вторых, выполнять обмен информацией (данными) между модулями, используя только базу данных.

Кроме того, обработка „сырой” радиолокационной информации начинается только после преобразования аналогового видеосигнала в дискретный и накопления его для всего кругового обзора. Доступ к „сырой” радиолокационной информации кругового обзора открывает новые возможности в разработке методов и алгоритмов фильтрации, обнаружения, сопровождения и классификации целей.

Для увеличения вычислительной мощности ПАК предусмотрено подключение спецвычислителя. Спецвычислитель оперирует с данными, которые находятся только в базе данных.

Предлагаемая концептуальная модель функционирования ПАК полностью соответствует идеологии построения открытых систем [11], так как в ней возможна реализация:

- расширяемости, т.е. постепенного развития функций системы, замены отдельных компонент без перестройки всей системы;
- независимости от одного поставщика аппаратных или программных средств;
- дружелюбности среды, в которой работает пользователь;
- возможности использования информационных ресурсов, имеющихся в других системах.

Время решения задач, выполняемых модулями, должно удовлетворять следующим требованиям. Модуль аппаратно-программных средств выполняет задачу в „жестком” реальном масштабе времени.

Время, за которое выполняется обработка радиолокационной информации и выдаются результаты обработки на экран дисплея, должно быть меньше времени выполнения кругового обзора РЛС, т.е. предыдущий круговой обзор должен быть обработан и результаты выданы на экран за время приема „сырой” радиолокационной информации текущего кругового обзора.

Архивирование информации, полученной при обработке предыдущего кругового обзора, должно быть выполнено также за время приема радиолокационной информации текущего кругового обзора РЛС.

Остальные задачи выполняются на фоне вышерассмотренных задач. Временные требования к их решению не предъявляются.

Техническая реализуемость ПАК РЛС, выполненного в соответствии с предлагаемой концептуальной моделью, зависит от:

- наличия периферийного оборудования, удовлетворяющего требованиям разрабатываемого ПАК РЛС;
- наличия универсального компьютера, обеспечивающего функционирование потоков данных в ПАК в реальном масштабе времени;
- вычислительных ресурсов, позволяющих реализовать выполнение задач в ПАК в реальном масштабе времени;
- ресурсов памяти, необходимых как для оперативного, так и длительного хранения.

Так как архитектура компьютера определяет способы передачи и обработки данных, то в результате анализа потоков данных в концептуальной модели ПАК РЛС будут сформулированы требования к архитектуре компьютеров с процессорами x86.

3. Оценка технической реализуемости ПАК

Лихорадочная гонка в области наращивания производительности компьютера не только не стихает, но ускоряет темп. Однако если быстроедействие процессоров за последнее десятилетие увеличилось более чем на порядок, то пропускная способность шин ввода-вывода – лишь в несколько раз. Интегральная производительность определяется самым медленным ее компонентом. Практически все универсальные ЭВМ, в том числе и компьютеры, отражают классическую неймановскую архитектуру и содержат следующие основные блоки: оперативную память, процессор и периферийные устройства. Все блоки связаны между собой системной магистралью (шиной).

Как следует из функционирования концептуальной модели ПАК, модули при передаче информации от источника к приемнику используют системную шину. Предполагается, что база данных расположена в оперативной памяти компьютера.

Модуль аппаратно-программных средств выполняет управление преобразователем и передачу данных из преобразователя в базу данных с заданной частотой в режиме реального времени.

Модуль отображения информации передает данные из базы данных на экран дисплея с частотой кругового обзора. Размер данных, передаваемых на экран дисплея в основном зависит от разрешающей способности экрана дисплея, применяемого в ПАК.

При архивировании информация из базы данных передается в память длительного хранения или внешнему пользователю с частотой кругового обзора. Размер архивированных данных определяется размером „сырой” радиолокационной информации.

При документировании информация из базы данных передается в память длительного хранения или внешнему пользователю. Частота выдачи информации зависит от ситуации в зоне ответственности.

При обмене информацией с внешними пользователями данные могут передаваться с частотой кругового обзора или нерегулярно в зависимости от режима работы РЛС (автономно или в системе).

Из пульта управления информация поступает в базу данных. Частота поступления данных нерегулярная, зависит от действий оператора.

Техническая реализуемость ПАК будет осуществима при выполнении следующих условий:

- наличие преобразователя, удовлетворяющего требованиям разрабатываемого ПАК РЛС;
- возможность функционирования потока „сырой” радиолокационной информации между преобразователем и базой данных в реальном масштабе времени;
- наличие компьютера с архитектурой, обеспечивающей функционирование потоков данных в ПАК в реальном масштабе времени.

Требования к аналого-цифровому преобразователю формулируются на основании анализа выбранного варианта организации взаимодействия между преобразователем и компьютером, а параметры преобразователя – частота дискретизации, количество дискретных отсчетов, которое приходится на диапазон дальности и объем памяти, необходимой для хранения этих отсчетов, определяются из параметров РЛС.

Вариант организации взаимодействия между компьютером и преобразователем ориентирован на применение стандартного периферийного оборудования. Интервал времени между зондирующими импульсами состоит из активной области, в которой отраженный радиолокационный сигнал приходит из рабочего диапазона дальности, и пассивной, в которой отраженный сигнал приходит из нерабочего диапазона. В начале активной области зондирующий импульс запускает преобразователь и выполняется преобразование аналогового видеосигнала в дискретный и его накопление в преобразователе на всем рабочем диапазоне. В пассивной области выполняется передача накопленной информации из преобразователя в компьютер и осуществляется управление преобразователем. Из этого вытекают следующие требования к преобразователю:

- наличие внешнего запуска;
- при достижении заданного количества преобразований останов преобразователя и выдача в компьютер сигнала аппаратного прерывания;
- передача накопленных отсчетов в компьютер по каналу прямого доступа в память.

Параметры преобразователя определяются из следующих параметров двухкоординатной РЛС кругового обзора, приведенных в табл. 1:

- L – дальность диапазона;
- f_c – частота зондирующих импульсов;
- t_{zu} – длительность зондирующих импульсов;
- ω – количество оборотов антенны в минуту.

В качестве отправной точки для расчета параметров преобразователя будем исходить из предположения, что для описания зондирующего импульса в дискретном виде достаточно иметь N_δ отсчетов дискретизации. Тогда частота преобразования аналогового видеосигнала f_δ в дискретный будет определяться из следующего соотношения:

$$f_\delta = N_\delta / t_{зи} . \quad (1)$$

Параметр N_δ выбирается разработчиком таким образом, чтобы при преобразовании аналогового видеосигнала в дискретный не было потерь полезной информации.

Реальная частота дискретизации $f_{\delta АЦП}$ определяется из условия $f_{\delta АЦП} \geq f_\delta$, где $f_{\delta АЦП}$ выбирается из набора частот дискретизации, реализованных в конкретном преобразователе аналогового сигнала в дискретный, а реальное количество отсчетов дискретизации $N_{\delta ф}$, приходящихся на время длительности зондирующего импульса, будет определяться как

$$N_{\delta ф} = t_{зи} f_{\delta АЦП} .$$

Время $T_{АЦП}$, необходимое для преобразования и накопления видеосигнала на всем диапазоне дальности, определяется по формуле

$$T_{АЦП} = 2L_{\max} / c , \quad (2)$$

где $L_{\max} = L + n_c L$ – максимальная дальность диапазона при учете сдвига по радиусу центра экрана; $c = 3 \cdot 10^8$ м/сек – скорость распространения света в воздухе; n_c – коэффициент сдвига центра относительно радиуса экрана (влияет на дальность диапазона).

Количество накопленных дискретных отсчетов $N_{\text{нак}}$ в преобразователе за это время будет

$$N_{\text{нак}} = T_{АЦП} f_{\delta АЦП} , \quad (3)$$

а количество накопленных отсчетов $N_{\text{нак АЦП}}$, с учетом требований технической реализации преобразователя $N_{\text{нак АЦП}}$, выбирается таким образом, чтобы выполнялось условие

$$N_{\text{нак АЦП}} \geq N_{\text{нак}} .$$

Размер памяти в байтах $N_{\text{чтбайт}}$, необходимой для накопления $N_{\text{нак АЦП}}$ отсчетов в преобразователе, определяется из следующего соотношения:

$$N_{\text{чтбайт}} = n_{\text{DAS}} N_{\text{нак АЦП}} , \quad (4)$$

где n_{DAS} – количество байт, необходимых для хранения одного дискретного отсчета.

Оценка возможности функционирования потока „сырой” радиолокационной информации между преобразователем и компьютером и в реальном масштабе времени рассматривается ниже.

Время $T_{\text{чтвпр}}$, которое остается на управление преобразователем и передачу накопленных данных из преобразователя в компьютер, будет равно

$$T_{\text{чмYnp}} = \frac{1}{f_c} - T_{\text{АЦП}}, \quad (5)$$

а время $T_{\text{чм}}$ передачи данных из преобразователя в компьютер будет определяться как

$$T_{\text{чм}} = \frac{N_{\text{чмбайт}}}{\nu}, \quad (6)$$

где ν – реальная пропускная способность канала, применяемого для обмена информацией между преобразователем и компьютером. Этот параметр обычно приводит разработчик преобразователя. Передача данных из преобразователя в компьютер в реальном времени происходит только в случае выполнения условия $T_{\text{чм}} < T_{\text{чмYnp}}$. Время T_{Ynp} , которое остается на управление преобразователем и передачу информации от других модулей, будет определяться как

$$T_{\text{Ynp}} = T_{\text{чмYnp}} - T_{\text{чм}}. \quad (7)$$

Следует заметить, что взаимодействие между компьютером и преобразователем в реальном масштабе времени возможно только при условии, что $T_{\text{Ynp}} > T_{\text{YnpMin}}$, где T_{YnpMin} – время, необходимое на управление преобразователем (определяется опытным путем).

Допустимый размер данных от других модулей $M_{\text{арх}}$, который можно пропустить по шине за время T_{Ynp} , определяется следующим образом:

$$M_{\text{арх}} = T_{\text{Ynp}} * \nu. \quad (8)$$

Размер памяти в байтах, необходимой для хранения „сырой” радиолокационной информации кругового обзора M в базе данных, определяется как

$$M = N_{\text{чмбайт}} N, \quad (9)$$

где $N = \frac{f_c}{\omega}$ – количество зондирующих импульсов за 1 оборот антенны.

Следует заметить, что при выбранной частоте квантования аналогового видеосигнала разрешающая способность по дальности преобразователя $\partial R_{\text{АЦП}}$ определяется как

$$\partial R_{\text{АЦП}} = \frac{L_{\text{MAX}}}{N_{\text{нак}}}. \quad (10)$$

Обычно в персональных компьютерах используется системная шина стандарта PCI [12]. PCI представляет собой шину с разделяемой архитектурой и распределением памяти, т.е. оперативная память совместно используется процессором и периферийными устройствами. Разделяемый подход имеет очевидный недостаток, а именно, какое-либо одно периферийное устройство может монополизировать шину так, что другие устройства не будут иметь к ней доступа.

Для частичного устранения этого недостатка применяется локальная шина для обмена данными только между оперативной памятью и процессором и локальная шина AGP для вывода графической информации на экран дисплея.

Разработана спецификация расширения шины PCI под названием PCI-X. Эта спецификация опирается на существующую технологию PCI, но за счет ряда усовершенствований протокола она позволяет значительно увеличить производительность шины. Ее максимальная пропускная

способность при подключении единственного устройства составляет свыше 1066 Мб/с. Следует особо отметить поточечное подключение системных шин PCI-X, что дает возможность выделить отдельную шину PCI-X для обмена данными между модулем аппаратно-программных средств и базой данных.

Системной шиной третьего поколения называют последовательную шину PCI Express. Ключевой особенностью шины PCI Express является переход от параллельной структуры шины (как для нынешних AGP и PCI) к тонким высокочастотным каналам последовательной передачи данных. PCI Express является открытым индустриальным стандартом, имеет функции горячего подключения/отключения и применима для очень широкого класса устройств – от графических ускорителей до разнообразной периферии. Причем она программно совместима со старой PCI. Значительно большая, чем у параллельных шин PCI и PCI-X, пропускная способность одиночных линий связи и независимость (асинхронность) совместной работы нескольких последовательных каналов для PCI Express делает ее более быстродействующей, компактной и легче конфигурируемой, чем традиционная PCI. Каждая связь выполнена по типу "точка-точка". Это означает, что в компьютере с такой архитектурой можно разнести потоки данных по различным шинам, в результате чего потоки данных не будут конфликтовать между собой.

Из вышерассмотренного следует, что только применение компьютеров с системной шиной PCI-X или PCI Express позволяет разработать ПАК, выполняющий поставленные задачи в полном объеме и работающий в реальном масштабе времени.

4. Результаты разработки ПАК для РЛС МР 244

Рассмотренный подход был применен при разработке ПАК опытного образца береговой РЛС кругового обзора МР 244-2М. В качестве ПАК использовалась компьютерная система обработки сигналов, управления, отображения и контроля, реализованная на универсальной вычислительной технике.

Предложенная методика использовалась для расчета параметров технических средств, необходимых для реализации ПАК и при оценке технической реализуемости ПАК на универсальной вычислительной технике. В табл. 2 приведены расчетные параметры аналого-цифрового преобразователя. Для расчета параметров преобразователя использовались параметры аналоговой РЛС МР 244 (табл. 1) и предполагалось что:

- количество отсчетов дискретизации, приходящих на длительность зондирующего импульса, равно $N_d = 2$;

- коэффициент сдвига центра по радиусу экрана $n_c = \frac{2}{3}$.

На момент разработки ПАК наиболее полно удовлетворял сформулированным требованиям модуль PDA12A фирмы Signatec [13], со следующими параметрами:

- два 12-разрядных преобразователя аналогового сигнала в цифровой;

Таблица 2. Результаты расчета параметров ПАК РЛС

№ п/п	Название параметров	Диапазон обзора		
		1-й	2-й	3-й
1	Дальность диапазона L , миль/м	1/1852	4/7408	64/118528
2	Частота посылок зондирующих импульсов f_c , Гц	3000	1500	750
3	Длительность зондирующих импульсов $t_{зи}$, мксек	0,07	0,25	0,9
4	Количество оборотов антенны ω , 1/ мин.	20	20	20
5	Количество отсчетов дискретизации, приходящих на зондирующий импульс, N_δ	2	2	2
6	Время, необходимое на преобразование и накопление отсчетов на всем диапазоне дальности $T_{АЦП}$, мксек	20,6	82,32	791
7	Максимально допустимое время для управления преобразователем и передачи накопленных данных из преобразователя в компьютер $T_{чмУпр}$, мксек	312,4	583,68	542
8	Расчетная частота дискретизации преобразователя f_δ , Гц	$28,57 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^6$
9	Реальная частота дискретизации преобразователя $f_{\delta АЦП}$, Гц	$31,25 \cdot 10^6$	$12,5 \cdot 10^6$	$3,125 \cdot 10^6$
10	Фактическое количество отсчетов, приходящих на зондирующий импульс $N_{\delta ф}$	2,1875	3,125	2,88
11	Количество накопленных отсчетов $N_{нак}$ на всем диапазоне дальности	644	1029	2470
12	Количество накопленных отсчетов с учетом требований технической реализации преобразователя $N_{нак АЦП}$	672	1056	2496
13	Размер памяти в байтах, необходимый для хранения $N_{нак АЦП}$ отсчетов	1344	2112	4992
14	Время чтения данных из преобразователя в компьютер $T_{чм}$, мксек	16,8	26,4	62,4
15	Время на управление преобразователем $T_{упр}$, мксек	295	557	479
18	Размер данных $M_{арх}$ в байтах, передаваемых за время, $T_{упр}$	23600	44560	57480
16	Количество байт для хранения кругового обзора M	12096000	9504000	11232000
17	Время архивации „сырой” радиолокационной информации кругового обзора $T_{Арх}$, мксек	0,151	0,118	0,14
18	Разрешающая способность по дальности $\partial R_{АЦП}$ преобразователя, м	4,8	12	48

- $n_{DAC} = 2$ байта на один дискретный отсчет;
- $m_{DAC} = 512$ килобайт - размер памяти в модуле для накопления дискретных отсчетов;
- 31,25; 25; 15,625; 12,5; 7,8125; 6,25; 3,90625; 3,125; 1,953125 МГц набор частот дискретизации, на которых может работать преобразователь;
- размер памяти, выделяемый на накопление дискретных отсчетов, должен быть кратным 16;
- реальная пропускная способность системной шины PCI для модуля преобразователя $\nu = 80$ Мб/сек.

В табл. 2 приведены результаты оценки возможности функционирования потока „сырой” радиолокационной информации в реальном масштабе времени между выбранным преобразователем и базой данных. Как следует из результатов, приведенных в табл. 2, взаимодействие между модулем PDA12A фирмы Signatec и компьютером будет выполняться в реальном масштабе времени.

Приведенные в таблице расчетные параметры использовались как исходные данные при разработке прикладного программного обеспечения компьютерной системы обработки сигналов, управления, отображения и контроля РЛС. Прикладное программное обеспечение компьютерной системы было разработано в соответствии с предлагаемой концептуальной моделью функционирования ПАК и идеологией открытых систем. При разработке программного обеспечения для опытного образца основное внимание было уделено разработке эффективных методов, алгоритмов фильтрации радиолокационной информации, обнаружения целей и сопровождения целей. При разработке ПАК для МР 244-2М не ставилась задача архивации „сырой” радиолокационной информации, поэтому был выбран промышленный компьютер с архитектурой на базе системной шины PCI. Следует заметить, что эксперимент с архивацией в условиях работающей РЛС подтвердил вывод о том, что будут нарушения в работе РЛС в реальном масштабе времени.

Следует заметить, что ПАК, реализованный на базе компьютера с архитектурой на базе системной шины PCI-X или PCI Express, будет работать в реальном масштабе времени.

РЛС МР 244-2М с ПАК на базе компьютерной системы обработки и отображения радиолокационных сигналов, управления и контроля прошла испытания и принята в 2004 году в эксплуатацию.

Результаты работы РЛС МР 244-2М полностью подтвердили эффективность применения в ПАК компьютерной системы обработки и отображения радиолокационных сигналов, управления и контроля на базе универсальной вычислительной техники.

5. Заключение

Решение современных задач системы наблюдения и контроля надводной обстановки морского пограничного пространства и побережья требует новых подходов к разработке технических средств реализации такой системы. В данной работе рассмотрен вопрос разработки независимого от

изготовителей аппаратных средств программно-аппаратного комплекса (ПАК) двухкоординатной РЛС кругового обзора, удовлетворяющего предъявляемым к системе требованиям, на базе компьютерной системы, состоящей из универсальной вычислительной техники (компьютера и стандартного периферийного оборудования).

Предложена концептуальная модель функционирования ПАК, учитывающая современные требования к РЛС как составной части системы наблюдения и контроля и удовлетворяющая требованиям открытых систем. Сформулированы требования к аппаратным средствам разрабатываемого на базе компьютерной системы ПАК и предложена методика подбора аппаратных средств. Приведен пример разработки ПАК береговой РЛС кругового обзора.

В заключение следует заметить, что вопрос разработки ПАК РЛС, независимого от изготовителей аппаратных средств, за счет применения универсальной вычислительной техники является актуальным при разработке ПАК РЛС других типов. Рассмотренный подход к выбору концептуальной модели и оценке технической реализуемости применим при разработке ПАК РЛС других типов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по радиолокации. Основы радиолокации / Под ред. М. Сколника: Пер. с англ. под общей редакцией К.Н. Трофимова. – М.: Сов. радио, 1976. – Т. 1. – 455 с.
2. www.stn.atlas-marine.de/radar1000.pdf.
3. www.raytheonmarine.de.
4. www.furuno.co.jp/english/marine/far2815/far2815.html.
5. www.kongsberg.com/kog/products.
6. www.rs-head.spb.ru/si/sto/sto_eng/05/05_05140100mk.html.
7. www.sperry-marine.com/epal/systemconfiguration.
8. www.si-tex.com/html/radarpc.html.
9. www.horizont.rsd.ru/nayada-34m.html.
10. Международные документы по устройству и применению РЛС: Резолюции ИМО: А. 422(11), А. 477(12), А. 482(12), А. 483(12), А. 694(12), А. 820(19), А. 823(19). MSC 64(67).
11. Кузнецов С. Открытые системы, процессы стандартизации и профи ли стандартов. www.linuxshop.ru/lib/other/kuzn03.html.
12. www.pcisig.com.
13. www.signatec.com.