

УДК 621.396

Д. Ю. Полин, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова  
 М. А. Бояршинов, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова  
 В. В. Хворенков, доктор технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## ПУТИ ПОСТРОЕНИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ СВЯЗИ\*

*Рассматриваются структуры аппаратно-программного комплекса связи и радиомодема как его основного модуля. Предлагается ряд технических решений на уровне организации этих структур, а также выбора интерфейсов связи между модулями.*

**Ключевые слова:** коротковолновая связь, аппаратно-программный комплекс связи, радиомодем.

В настоящее время коротковолновая связь, работающая в диапазоне от 3 до 30 МГц, все еще актуальна в труднодоступных районах, неохваченных сотовыми сетями, таких как заполярье, тайга, горные массивы и прочее. КВ-радиостанции могут создавать лишь соединение «точка – точка»; для организации сети из нескольких десятков корреспондентов требуются специализированные аппаратно-программные комплексы (АПК) связи, оснащенные несколькими приемниками и передатчиками, и работающие в качестве коммутационных узлов [1]. Современ-

ные цифровые протоколы коротковолновой связи поддерживают не только речевую связь, но и прием/передачу радиogramм, а также произвольных данных (например, фото) в режиме пакетной передачи. Для полноценного функционирования в АПК связи следует включать поддержку данных протоколов.

Аппаратно-программные комплексы связи могут строиться по разным принципам в зависимости от спектра решаемых задач. В рамках данной статьи предлагается наращиваемая структура АПК связи, показанная на рис. 1.

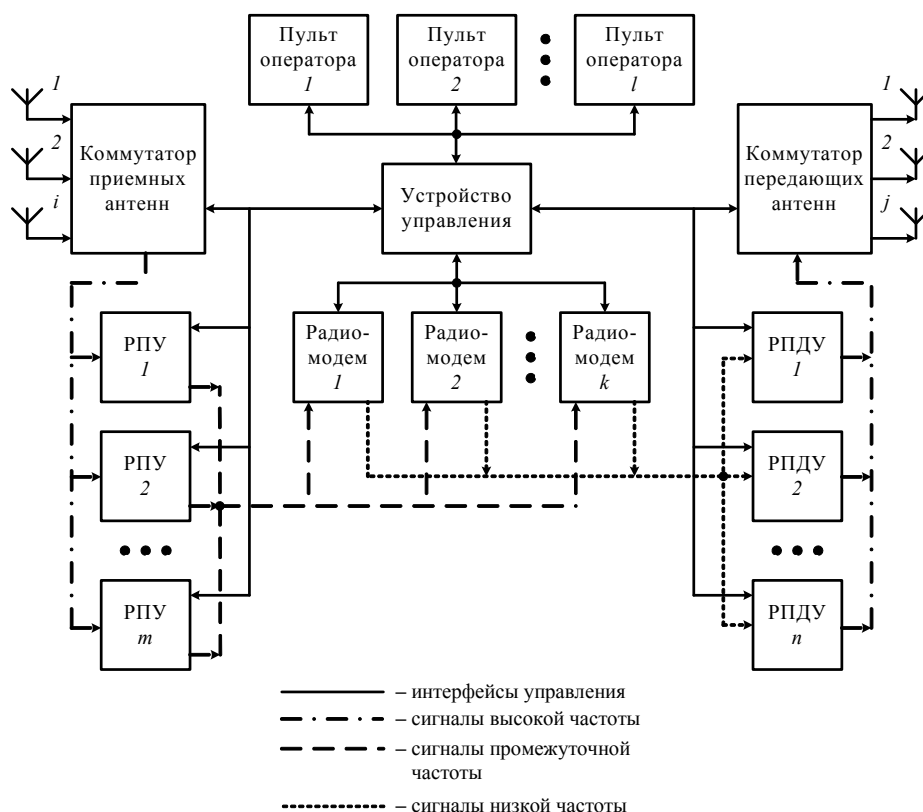


Рис. 1. Обобщенная структура аппаратно-программного комплекса связи

© Полин Д. Ю., Бояршинов М. А., Хворенков В. В., 2013

Получено 14.01.13

\* Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития ФГБОУ ВПО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» на 2012–2016 гг.

Аппаратно-программный комплекс связи состоит из следующих устройств.

1. Пульт оператора – это персональный компьютер с установленным специализированным программным обеспечением, выполняющий функцию пользовательского терминала. Если планирование проведения сеансов связи предусматривает параллельную работу нескольких речевых сеансов, в том числе и для коммутации двух корреспондентов, в АПК может быть предусмотрено наличие  $l$  пультов оператора, где  $l$  – число одновременно работающих двусторонних речевых сеансов. Поэтому в качестве интерфейса между пультами и самим АПК целесообразно использование Ethernet.

2. Устройство управления. Данное устройство осуществляет взаимодействие пульта (пультов) оператора с другими элементами комплекса на аппаратном уровне. Функции управления АПК связи могут быть по-разному распределены между пультом и устройством управления в зависимости от вычислительной мощности этих узлов, спектра решаемых задач и организационных особенностей комплекса. В большинстве случаев применима схема, где пульт оператора отвечает за ввод данных сеанса, контроль занятости ресурсов, ведение логов, работу с базами данных и сбор информации о работоспособности узлов АПК. Устройство управления коммутирует потоки команд между узлами АПК, поддерживает аппаратные протоколы взаимодействия с каждым из устройств. Программное обеспечение (ПО) устройства управления можно реализовать на операционной системе или на «голом железе», организовав псевдомногозадачность. Выбор той или иной реализации зависит от степени сложности ПО устройства управления.

3. Радиоприемное устройство (РПУ). Показанные на схеме выше  $m$  РПУ следует трактовать как  $m$  независимых приемных трактов, а не  $m$  конструктивно отдельных приемников, поскольку один приемник может включать несколько трактов. В настоящее время АПК связи строятся с учетом необходимости постоянно прослушивать эфир на нескольких частотах одновременно, поэтому в одном комплексе может быть множество каналов (трактов) приема  $m$ , намного превышающее число каналов передачи  $n$ , то есть  $m \geq n$ . В приемниках происходит перенос спектра принимаемого сигнала на промежуточную частоту. Демодуляция в РПУ не производится. Она выполняется уже в радиомодеме и различна не только для разных радиомодемов, но и в разных сеансах связи одного и того же радиомодема.

4. Радиопередающее устройство (РПДУ). По аналогии с РПУ одно РПДУ на схеме – это один канал передачи. Интерфейс между устройством управления и РПДУ, как правило, определяется конструктивными особенностями последнего. Учитывается, что передатчик может быть физически удален от АПК, и длина провода может составлять десятки метров, а также то, что передатчик наводит сильные помехи. Рекомендуемыми интерфейсами являются RS-422 и Ethernet. Данные для передачи поступают на РПДУ

в виде низкочастотных сигналов от радиомодема. Число каналов передачи  $n$ , включенных в состав АПК, определяется числом одновременно работающих двусторонних сеансов связи, как речевых, так и сеансов пакетной передачи данных. Разумеется, возникают вопросы электромагнитной совместимости, которые становятся тем острее, чем большее количество РПДУ работает в системе. Однако данный класс вопросов в статье не рассматривается.

5. Коммутаторы приемных и передающих антенн – необязательные элементы АПК, наличие которых тем не менее значительно ускоряет подготовку комплекса к проведению сеанса связи, если в состав комплекса включены  $i$  приемных антенн и  $j$  передающих. Число приемных антенн  $i$  может быть любое, начиная от одной. Число передающих антенн  $j$  должно быть не менее чем число РПДУ, то есть  $j \geq n$ .

6. Радиомодем – основная составная часть АПК связи. В радиомодеме производится вся цифровая обработка сигналов, связанная с обнаружением и приемом сигнала от выходов промежуточной частоты РПУ, формированием низкочастотного сигнала, выдаваемого на РПДУ, вся алгоритмическая логика проведения сеансов связи, поддерживаемая данным оборудованием, а также управление РПУ и РПДУ в ходе сеансов. Чем больше радиомодемов в составе комплекса, тем более многофункционален АПК. Разные радиомодемы комплекса могут быть совершенно по-разному реализованы, как алгоритмически, так и схемотехнически. Однако для возможности их работы в комплексе необходимо наличие стандартных выходов промежуточной частоты для демодуляторов, выходов низкой частоты для модуляторов, а также наличие общего с устройством управления интерфейса для обмена командами управления и приемом/передачей данных по сеансам связи.

В рамках данной статьи предлагается структура многофункционального радиомодема для проведения одно- и двухсторонних сеансов передачи данных, а также речевых сеансов связи. Структура показана на рис. 2.

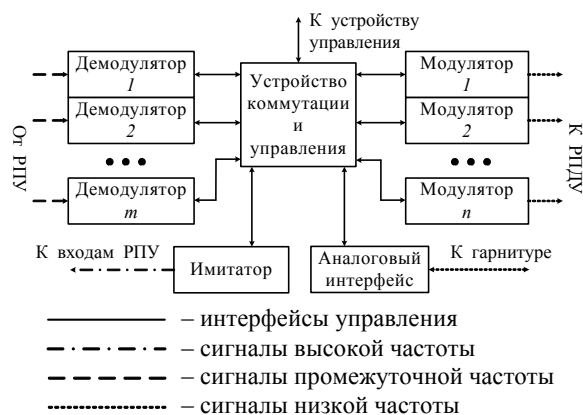


Рис. 2. Обобщенная структура радиомодема

Центральным элементом радиомодема является устройство коммутации и управления (УКУ). В его функции входит:

1) командный обмен с устройством управления АПК;

2) обмен командами и данными по сеансам связи с другими модулями радиомодема;

3) коммутация потоков речевых отсчетов между модулями радиомодема для организации двусторонних речевых сеансов;

4) контроль занятости и мониторинг работоспособности других модулей.

В качестве интерфейса между устройством управления АПК связи и УКУ радиомодема целесообразно использовать шину VME (VMEbus – VersaModule Eurocard bus) [2]. Данная шина обладает следующими достоинствами:

1) возможность подключения множества устройств;

2) многопроцессорность – возможность использования процессорами общих периферийных устройств;

3) большая разрядность (32–64 разряда);

4) стандартизированный конструктив Евромеханика (Eurocard) – стандарт исполнения печатных плат, размещаемых в специальных корзинах («крейтах»), которые, в свою очередь, устанавливаются в телекоммуникационную стойку.

В радиомодеме задействовано  $m$  демодуляторов и  $n$  модуляторов, их число определяется соответственно числом каналов РПУ и РПДУ аппаратно-программного комплекса. Управление сеансами на модемном уровне сосредотачивается в демодуляторах, построенных на технологии SDR (Software-defined radio – программно-определяемая радиосистема). В этом случае один демодулятор может работать по различным алгоритмам в разных сеансах. Кроме того остается огромный потенциал для доработок и модернизации комплекса, поскольку дорабатывать необходимо только программное обеспечение без изменения схемотехнических решений радиомодема. Модуляторы работают в основном как формирователи низкочастотного сигнала для передатчика. Для их физической реализации применимы менее производительные сигнальные процессоры.

Для проверки приемных трактов АПК введен специальный элемент радиомодема – имитатор. Наличие этого устройства необязательно, но значительно повышает возможности комплекса по самодиагностике без использования штатных РПДУ. Имитатор генерирует высокочастотный сигнал аналогичный принимаемым в АПК сигналам. Сигнал имитатора заводится на антенные входы РПУ комплекса.

Для организации двусторонних речевых сеансов в схему введен аналоговый интерфейс, который может быть реализован на менее производительном сигнальном процессоре. Функцией этого процессора является транслирование речевого сигнала, принятого от демодулятора, на гарнитуру оператора, а также транслирование сигналов от гарнитуры в модулятор для последующей передачи в эфир. Гарнитура располагается на пульте оператора. Если в составе АПК несколько пультов, то логично, что на аналоговом интерфейсе реализуется поддержка соответствующе-

го числа гарнитур, каждая из которых привязана к определенному пульту. Потоки данных для любого числа речевых сеансов должны быть независимы и передаваться в реальном времени.

Коммутация команд и отсчетов данных между узлами радиомодема, как уже говорилось выше, является одной из главных функций УКУ. Интерфейс межпроцессорного и межмодульного обмена должен обеспечивать скорость и гарантированную доставку информации. Рассмотрим два случая, когда межпроцессорный обмен построен на определенном интерфейсе.

Интерфейс SPORT – синхронный последовательный порт, поддерживаемый процессорами фирмы Analog Devices [3]. Командный обмен по данному интерфейсу имеет следующие особенности.

1. Возможность организации временных слотов при настройке порта позволяет одному устройству, выполняющему функцию диспетчера (в рассматриваемом случае это УКУ), обмениваться данными со всеми остальными по одной линии для приема, и одной – для передачи. То есть для полного обмена достаточно наличие у каждого из устройств лишь одного двустороннего или двух односторонних интерфейсов SPORT.

2. Устройство, выбранное ведущим, обменивается данными со всеми остальными посредством одного прерывания DMA на прием и передачу, то есть псевдопараллельно.

3. Частота возникновения прерываний чтения/передачи данных полностью детерминирована и пропорциональна частоте периферийного сигнального процессора. Это позволяет организовать обмен отсчетами сигналов в речевых сеансах в реальном масштабе времени и без дополнительной буферизации.

4. Скорость обмена по интерфейсу SPORT достаточно высока (более 10 Мбит/сек.), однако она обратно пропорциональна числу ведомых устройств, кроме того ведомые устройства ведут обмен через ведущее, и время обмена, таким образом, как минимум удваивается.

Другой интерфейс, более распространенный в настоящее время, – это Link-порт – последовательно-параллельный порт, поддерживаемый как процессорами фирмы Analog Devices [4], так и процессорами других компаний. Командный обмен по данному интерфейсу имеет следующие особенности:

1. Скорость обмена по интерфейсу очень высока, она измеряется в ГБайт/сек – это главное достоинство Link-порта.

2. Для организации обмена каждой пары устройств в идеале необходим отдельный Link-порт, что практически невозможно, поскольку на микропроцессоре редко бывает более четырех таких интерфейсов. Таким образом, обмен должен организовываться по цепочке, что предполагает наличие программного диспетчера принимаемых команд у каждого устройства и задерживает передачу команды тем сильнее, чем далее по цепочке устройство-отправитель находится от устройства-получателя.

3. Так как прерывания чтения/записи возникают по факту передачи блока информации от одного устройства другому, отсчеты сигналов в двусторонних речевых сеансах необходимо передавать на общих основаниях – блоками. При этом за счет скорости интерфейса реальный масштаб времени сохраняется, однако необходимо дополнительное согласование скоростей на программном уровне при передаче/приеме через гарнитуру.

Таким образом, интерфейс SPORT целесообразно использовать при соединении им большого числа устройств, если для упрощения схемотехнической реализации приемлемо пожертвовать скоростью обмена, а также при необходимости передачи сигнальных отсчетов в реальном времени без буферизации. В остальных случаях целесообразно использовать Link-порт как наиболее быстрый и универсальный интерфейс межмодульной связи.

Подводя итоги всему вышесказанному, следует заметить:

1. АПК связи целесообразно строить вокруг одного устройства управления, задавая число пультов оператора, РПУ и РПДУ исходя из планируемой нагрузки на комплекс. При модернизации такого АПК, связанной с наращиванием числа трактов, изменения коснутся в основном ПО устройства управления и пульта оператора, а схемотехнические изменения ограничатся лишь введением большего числа разъемов на устройстве управления.

2. В радиомодеме выполняется вся цифровая обработка сигнала. При выполнении определенных правил с точки зрения подключения радиомодема к трактам приема/передачи в АПК связи можно

включить несколько различных радиомодемов. Увеличение числа радиомодемов в составе комплекса расширяет его функциональные возможности. Оптимальным интерфейсом подключения радиомодемов к устройству управления является шина VME.

3. В предлагаемой структуре радиомодема центральное место занимает устройство коммутации и управления, управляющее проведением сеансов связи на алгоритмическом уровне и коммутирующее потоки данных. Управление же на модемном уровне ведется из каждого конкретного демодулятора, связанного с определенным каналом приема. Демодулятор построен по технологии SDR, что позволяет работать на одном оборудовании разным режимам, а также оставляет возможность модернизации радиомодема без изменения его схемы. Для связи модулей в радиомодеме в зависимости от конкретного случая целесообразно использовать интерфейс SPORT или Link-порт.

#### Библиографические ссылки

1. Головин О. В., Простов С. П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 598 с., ил.
2. ГОСТ Р МЭК 821–2000. Магистраль микропроцессорных систем для обмена информацией разрядностью от 1 до 4 байтов (магистраль VME). Введ. 01.01.2001, действует. – 204 с.
3. Analog Devices, Inc. ADSP-BF537 Blackfin Processor Hardware Reference. Revision 2.0, December 2005.
4. Analog Devices, Inc. ADSP-TS201 TigerSHARC Processor Hardware Reference. Revision 1.1, December 2004.

---

*D. Yu. Polin*, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

*M. A. Boyarshinov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

*V. V. Khvorenkov*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

#### Ways of Developing the Hardware-Software Communication Complexes

*Structures of the hardware-software communication complex and the radio modem as its main module are considered. Some technical solutions to organize these structures and to choose the between-module connection interfaces are proposed.*

**Key words:** high-frequency communications, hardware-software communication complex, radio modem.