

# Программно-аппаратный комплекс управления антенным постом корреляционно-фазового пеленгатора

Игорь Валяев, Игорь Жёлтиков, Борис Каширцев, Залимхан Турлов

В статье рассмотрены вопросы создания системы управления антенным постом корреляционно-фазового пеленгатора. Обоснован выбор аппаратных средств. Описана структура программного комплекса под управлением ОС РВ QNX 6.

## КОРРЕЛЯЦИОННО-ФАЗОВЫЙ ПЕЛЕНГАТОР «РИТМ-М»

ОАО «ОКБ МЭИ» недавно отметило 65-летие со дня образования. Всё это время основным направлением деятельности является работа в интересах космической отрасли, как для бортового, так и для наземного сегмента.

В качестве одной из самых интересных разработок можно выделить корреляционно-фазовые пеленгаторы (КФП). Такие комплексы позволяют с большой точностью (до нескольких угловых секунд) определять угловые параметры (угол места и азимут) движения космических аппаратов на орбитах от 200 до 40 000 км.

Условно работу системы можно назвать «GPS наоборот». При решении задачи глобального позиционирования в некоторой точке система принимает сигнал от нескольких спутников, разнесённых в пространстве. Совместная об-

работка сигналов позволяет определить координаты точки. В КФП сигнал от одного спутника принимается на пять разнесённых приёмных антенн, и совместная обработка сигналов позволяет определить направление на объект. Теория фазовой пеленгации выходит за рамки тематики настоящего журнала, более полно с ней можно ознакомиться в [1].

В 2012 году был сдан в эксплуатацию КФП «Ритм-М» (рис. 1). В статье описана система управления антеннами данного комплекса.

## ТРЕБОВАНИЯ ТЗ

Диаметр антенн – 3,1 м.

Максимальная скорость движения по азимуту  $12^\circ/\text{с}$ , по углу места  $5^\circ/\text{с}$ .

Диапазон перемещения по азимуту  $-270...+270^\circ$ , по углу места  $3...85^\circ$ .

Система управления должна обеспечивать работу в следующих режимах:

- ручное управление;
- переброс в заданную точку;
- программное управление (движение по траектории, заданной таблично);
- автосопровождение.

Отклонение от траектории не должно превышать  $2'$ . Период цикла управления не более 50 мс. Должна быть реализована возможность автоматического и дистанционного управления.

Дополнительным требованием является расширяемость при минимальных изменениях в конструкции контроллера управления и ПО.

## АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

С точки зрения системы управления, КФП состоит из пяти идентичных антенных постов. В состав оборудования входят двигатели, угловые датчики, концевые выключатели и аппаратура обработки сигнала.

С учётом накопленного опыта [2] было принято решение использовать шину CAN как основной приборный интерфейс и QNX 6 в качестве базовой ОС. Если уточнить, операционной системой является изделие ЗОСРВ (защищённая операционная система реального времени) КПДА.10964 01 (разработчик и поставщик – фирма «СВД Встраиваемые Системы»). Такой выбор определил аппаратную конфигурацию системы управления.

В качестве исполнительных механизмов в приводах вращения по азимуту (АЗ) и углу места (УМ) используются



Рис. 1. Общий вид КФП «Ритм-М»

асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Двигатели имеют два конца выходного вала, что обеспечивает механическую связь с силовым редуктором, а также размещение на валу дискового тормоза и датчика скорости. Для поддержания стабильности скорости при изменении нагрузки на валу двигателя сигнал с датчиков скорости по цепи обратной связи поступает в систему наведения.

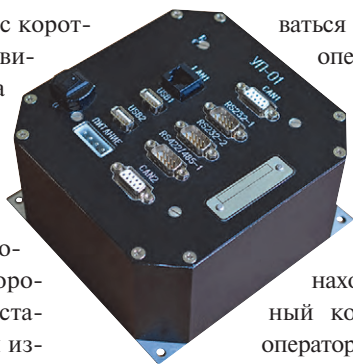


Рис. 2. Компьютер управления антенным постом

ваться как встраиваемая ОС без операторского интерфейса. С учётом возможности эффективного взаимодействия по сети была создана распределённая система управления. На каждом антенном посту находится специализированный компьютер, не имеющий операторского интерфейса, то есть без каких-либо средств отображения и ручного ввода. К его задачам относится управление всеми устройствами поста. Все пять таких компьютеров по сети соединены с центральным сервером, который решает общие задачи: ведение базы данных, математические расчёты, выдачу команд на компьютеры постов. Рабочие места операторов оборудованы обычными офисными ПК под управлением Windows.

В приводах вращения по азимуту двигатель, редуктор, тормоз и датчик скорости конструктивно объединены в мотор-редукторный модуль. Привод угла места состоит из двигателя, редуктора, тормоза, датчика скорости и механизма винт-гайка.

Для ограничения углов поворота антенны по осям на металлоконструкциях опорно-поворотных устройств установлены индуктивные бесконтактные выключатели.

Исполнительные двигатели подключены к выходам преобразователей частоты серии Micromaster 440 производства Siemens. Связь с преобразователями и угловыми датчиками производства Kubler осуществляется по протоколу CANopen. Состояние конечных выключателей опрашивается с помощью самих преобразователей.

Широкие возможности преобразователей Micromaster позволяют реализовать оптимальную структуру электропривода по принципу управления, диапазону регулирования скорости и момента.

Несмотря на наличие мощных графических средств, QNX может использо-

ваться как встраиваемая ОС без операторского интерфейса. С учётом возможности эффективного взаимодействия по сети была создана распределённая система управления. На каждом антенном посту находится специализированный компьютер, не имеющий операторского интерфейса, то есть без каких-либо средств отображения и ручного ввода. К его задачам относится управление всеми устройствами поста. Все пять таких компьютеров по сети соединены с центральным сервером, который решает общие задачи: ведение базы данных, математические расчёты, выдачу команд на компьютеры постов. Рабочие места операторов оборудованы обычными офисными ПК под управлением Windows.

Компьютеры поста выполнены в формате PC/104 и состоят из плат производства фирмы FASTWEL (рис. 2). Применены процессорная плата CPC-304 и плата полевых шин NIM-351 для протокола CAN. Выбор производителя обусловлен ценовой политикой, сроком поставки, расширенным температурным диапазоном, поддержкой QNX и возможностью дополнительных проверок.

В отдельном здании находится комната дежурной смены с операторскими ПК, где в специальном помещении размещены сервер и аппаратура обработки сигнала. На антенных постах установлены по два шкафа фирмы Schroff. В одном из них размещено оборудование для управления двигателями (рис. 3), в другом находятся контроллер управления и дополнительные устройства (рис. 4). Компьютеры со-

единены в сеть по оптоволоконному кабелю.

При разработке важными требованиями являлись модульность и расширяемость.

Применяемые в проекте платы содержат дополнительные интерфейсы. Так, на процессорной плате установлено два контроллера Ethernet, что позволяет присоединить ноутбук для локальной отладки и проверки оборудования без нарушения штатной схемы коммутации. Также на плате имеются интерфейсы для монитора и клавиатуры, что позволяет добавить в систему дисплей для локального отображения и управления (возможно использование сенсорного дисплея). Кроме того, на платах существует поддержка протоколов RS-232 и RS-485, поэтому допустима замена протокола доступа к контроллерам Micromaster или переход к протоколу SSI для обеспечения доступа к угловым датчикам при применении соответствующих преобразователей интерфейса. При дополнительной установке платы цифрового и аналогового ввода-вывода AIC324 фирмы FASTWEL появляется возможность поддержки практически всех распространённых интерфейсов.

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

При разработке ПО были выделены слои, или уровни задач.

Самый нижний уровень – драйверы плат, выше – уровень протоколов. Далее следуют приборы, то есть датчики и исполнительные механизмы, в задаче наведения антенны таковыми являются двигатели и угловые датчики. Приборами управляют контроллеры, которые решают локальную задачу (на одном такте управления). Выдача заданий находится в ведении алгоритмов, соответствующую



Рис. 3. Шкаф управления электроприводом



Рис. 4. Шкаф контроллера управления и дополнительных устройств

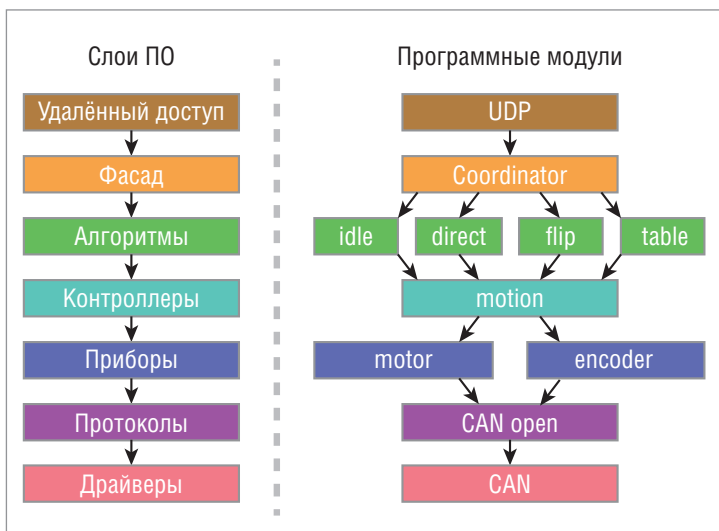
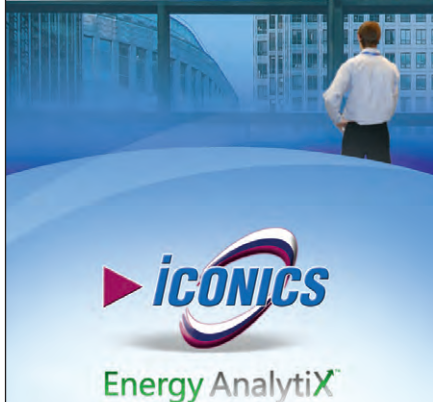


Рис. 5. Архитектура ПО управления антенным постом





## Управление энергоэффективностью

- Энергетические показатели
- Анализ энергозатрат
- Мониторинг целей и бюджета
- Быстрое внедрение и ROI
- Универсальные интерфейсы OPC, BACnet, SNMP, Web-сервисы



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР  
ПРОДУКЦИИ ICONICS



Тел.: (495) 234-0636 • Факс: +7 (495) 234-0640  
E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru

щих текущему режиму работы, например, переброс в точку или движение по траектории, заданной таблично. Так как задания поступают от другой подсистемы, то выделен *фасад* как единственная точка входа. Для обеспечения удалённого доступа в качестве вспомогательного добавлен ещё один уровень.

На каждом уровне находится один или несколько процессов. Интерфейсы к уровням и приборам фиксированы. Некоторые процессы запущены в нескольких экземплярах, по одному на каждую ось антенны.

Архитектура QNX располагает к реализации программных комплексов в виде нескольких независимых процессов, обменивающихся сообщениями. Структуру комплекса можно представить в виде направленного графа. Узлы соответствуют процессам, а направление ребра задаётся отношением клиент-сервер.

Слои и соответствующие им процессы показаны на рис. 5.

Каждый блок означает отдельный процесс или несколько идентичных отдельных процессов для каждой оси. Ряд вспомогательных программ опущен.

Удалённый доступ осуществляется по протоколу UDP, модуль получил такое же название. Фасадом системы служит блок *coordinator*.

Для работы в каждом из режимов созданы программы, реализующие необходимые алгоритмы. Их имена совпадают с названием режимов:

- *idle* – уровень задач для холостого режима;
- *direct* – прямое задание скорости движения оператором (ручной режим);
- *flip* – переброс в заданную точку;
- *table* – движение по траектории, заданной таблично.

Все процессы стартуют в начале работы, необходимый модуль активируется при поступлении соответствующей команды.

Программы режимов выдают задание на работу контроллерам осей, непосредственно управляющих движением и имеющим имя *motion*. В свою очередь, контроллеры опрашивают состояние угловых датчиков через модули угловых датчиков *encoder* и задают требуемую скорость движения модулям двигателей *motor*. *Motion*, *encoder* и *motor* запускаются по одному на каждую ось антенного поста.

Связь с преобразователями частоты двигателей и угловыми датчиками осуществляется по протоколу CANopen на основе интерфейса CAN. Естественно,

что программы нижних уровней имеют соответствующие имена.

Все программы созданы на базе шаблона [3], что уменьшает сложность разработки и позволяет унифицировать структуру модулей, образующих систему управления. Кроме того, шаблон предоставляет механизм расширения функциональности без внесения изменений в существующую программу.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе разработки все поставленные задачи были выполнены.

Серия преобразователей Micromaster может работать в значительном диапазоне мощностей, что позволяет применять их для антенн большого диаметра. Возможен переход на более современную серию.

Широкий набор интерфейсов контроллера управления позволяет подключать разнообразные дополнительные устройства.

Распределённая архитектура дала возможность сократить период цикла управления до 20 мс. Кроме того, допускается функционирование автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора под любой ОС по требованию заказчика. Реализована возможность автоматического и дистанционного управления.

Применение QNX облегчает создание программного комплекса в виде независимых процессов. Внесение изменений в одну программу не затрагивает остальные. Разбиение на слои и фиксация их интерфейсов упрощают добавление новых режимов работы и замену типов оборудования.

Заложен механизм расширения функциональности.

Полученные результаты и наработки могут быть использованы для управления другими антеннами. ●

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чеботарёв А.С., Жуков А.О., Махненко Ю.Ю., Турлов З.Н. Мониторинг космических аппаратов на основе применения корреляционно-фазовых пеленгаторов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011.
2. Ходнев Н., Жёлтиков И. Мобильная антенная система для приёма телеметрической информации // Современные технологии автоматизации. – 2008. – № 2.
3. Шаблон программы-сервера для QNX 6 (Template of program-server for QNX 6). Версия 3.4 от 05.05.2014 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://resmgr.narod.ru>.