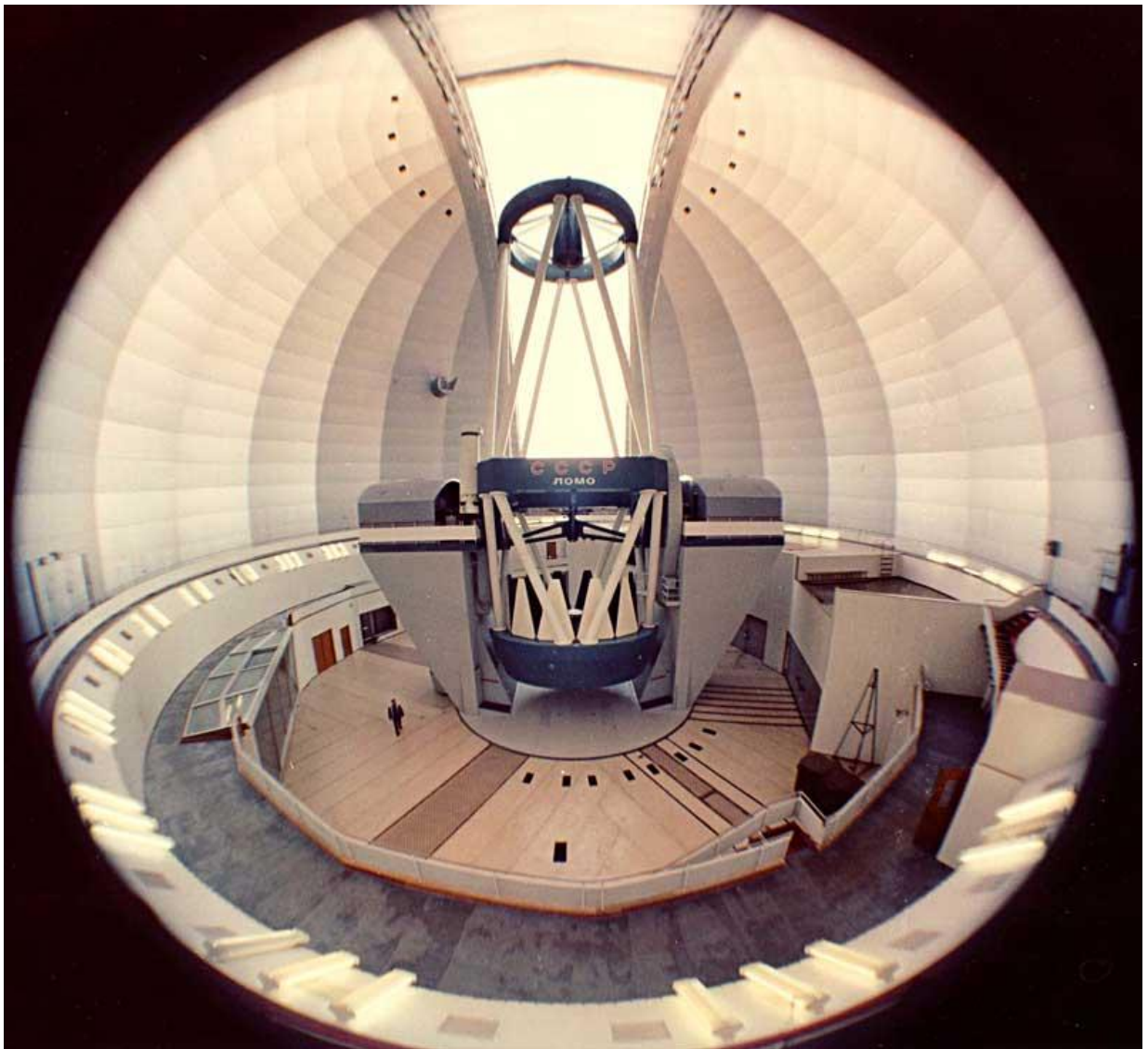


Модернизация системы управления Большого Азимутального Телескопа



САО РАН 2005г.

Содержание

Введение	2
Стратегия решений	3
Концепция	4
Требования к технической реализации	5
Выбор системы приводов	6
Выбор полевой шины	6
Выбор контроллерной платформы и системы проектирования	12
Инструментальная система разработки целевых проектов	11
Алгоритм взаимодействия распределенной сети	15
Управляющая диспетчерская система	17
Система звездного времени	19
Схема размещения узлов	20
Предварительный результат	23
Основные этапы реализации базовой части проекта	22
Заключение	24
<i>Приложение</i> Функции узлов	25-28

Введение

Проектирование БТА (Большой Телескоп Азимутальный) осуществлялось в 60-е годы прошлого века, что определяло уровень всех технических решений, на тот период времени самых современных и уникальных, для устройства конструкций крупных телескопов.

И в настоящее время телескоп является уникальным, прецизионным прибором, по своим механическим характеристикам, однако системы управления механикой, т. е. электроника, основанная на технологиях 60-х годов, не может удовлетворять современным требованиям.

С начала периода эксплуатации телескопа в 1975г. в систему управления вносились корректировки и усовершенствования в соответствии требованиями эксплуатации и наблюдательного процесса. В 1985г. ЭЦУМ была заменена универсальной мини ЭВМ типа СМ2, в середине 90-х мини ЭВМ заменили на "персональный" компьютер в промышленном исполнении.

Прошедший период модернизации позволил заметно повысить эксплуатационные параметры телескопа и бесперебойность его работы.

Однако замена одной управляющей ЭВМ не решала накапливающихся проблем, по эксплуатации устаревшего оборудования и необходимости развития системы в соответствии с современными требованиями, по причинам:

- физически и морально устаревших аналоговых систем силовых приводов телескопа;
- износа кабельных коммуникаций, при вращении телескопа, в зонах скрутки трасс;
- требований прокладки значительного числа дополнительных кабельных коммуникаций, для расширения систем контроля и диагностики;
- существенных технических проблем в целом, для развития системы с централизованной архитектурой, при большой длине измерительных цепей и цепей управления.

Весь предыдущий опыт эксплуатации показал, что сложные, разветвленные с последующими наслоениями и переделками коммуникации являются одной из основных причин частых отказов системы и сложности ее обслуживания.

Требовалось решение, по возможности исключаящее данные проблемы и отвечающее уровню современных системам управления.

Стратегия решений

В сентябре 1998 года на техническом совете САО РАН было принято решение о кардинальной реконструкции системы управления и построение новой, автоматизированной системы управления (АСУ), на основе современных принципов и сетевых технологий.

Т.е. замены централизованной системы управления на распределенную сеть программируемых логических контроллеров (ПЛК), размещаемых в зонах исполнительных механизмов.

А так же, замены силовых аналоговых приводов, на современные цифровые системы сервопривода.

Контроллеры и привода должны объединяться единой информационной магистралью с управляющей диспетчерской системой, «SCADA» (Supervisory Control And Data Acquisition System). По данной магистрали должен осуществляется сбор всей информации и управление всем оборудованием.

Такая схема позволит сократить большую часть кабельных коммуникаций, в то же время обеспечит возможность осуществлять реконфигурацию и наращивание системы в соответствии с техническими и технологическими требованиями.

Однако, реализация данного решения возможно при соблюдении следующих условий:

- разработка проекта и его реализация осуществляется силами собственных специалистов, т.к. бюджетное финансирование периода 90-х годов исключало иные варианты;
- построения новой Распределенной Системы Управления (PCY) поверх старой, с поэтапным вводом узлов;
- осуществление модернизации, при штатном режиме работы телескопа, т.е. без долговременных остановок телескопа на монтажные и отладочные работы.*
- Перенос в новую систему всех функций старой, т.е. реализацию базового уровня.

** Такой подход требовал разработки дополнительных схем сопряжения и постоянной доработки управляющего ПО, для параллельной поддержки старой и новой части системы управления. В тоже время, возможность отладки программной и аппаратной части системы, в реальной работе, обеспечила качественный результат и безостановочную эксплуатацию телескопа.*

Реализация базового уровня, это создание программно - аппаратной платформы, обеспечивающей все исходные режимы управления телескопом и представляющей возможности для последующего развития системы, с целью повышения эксплуатационных и точностных характеристик телескопа.

Для этого необходимо осуществлять ввод и учет в системе дополнительных параметров, таких как:

- контроль деформации несущих и оптических конструкций в зависимости от положения телескопа и температурных условий;
- контроль динамических и резонансных явлений связанных с работой механизмов и иных возмущающих факторов;
- расширение систем контроля и защитных блокировок с учетом метеопараметров;

Концепция

Исходная схема управления телескопом, представляла из себя, классическую схему управления промышленным объектом.

Исторически, базовым звеном подобных схем, является оператор, человек, который должен выполнять функции:

- анализа поступающей информации;
- выбор варианта технологических действий;
- исполнения данных действий.

Выполнение таких функций, в режиме ограниченного реального времени, является стрессовым режимом работы оператора, что ведет к ошибкам, а то и к аварийным ситуациям. *(Автор данных строк, некогда будучи оператором, загнал купол телескопа на аварийные концевики, вследствие чего и был переведен на другую работу.)*

Следовательно, система управления, с точки зрения современных требований, должна по возможности исключать "человеческий фактор" из процесса управления.

Пологая, что система управления телескопом, является составным звеном, в системе управления научным экспериментом, то управление телескопом должно быть подчинено астроному наблюдателю. Такая схема сократит цепочку управления, повысит эффективность и удобство работы, а за оператором сохраняются только надзорные и некоторые базовые функции. Рис1.

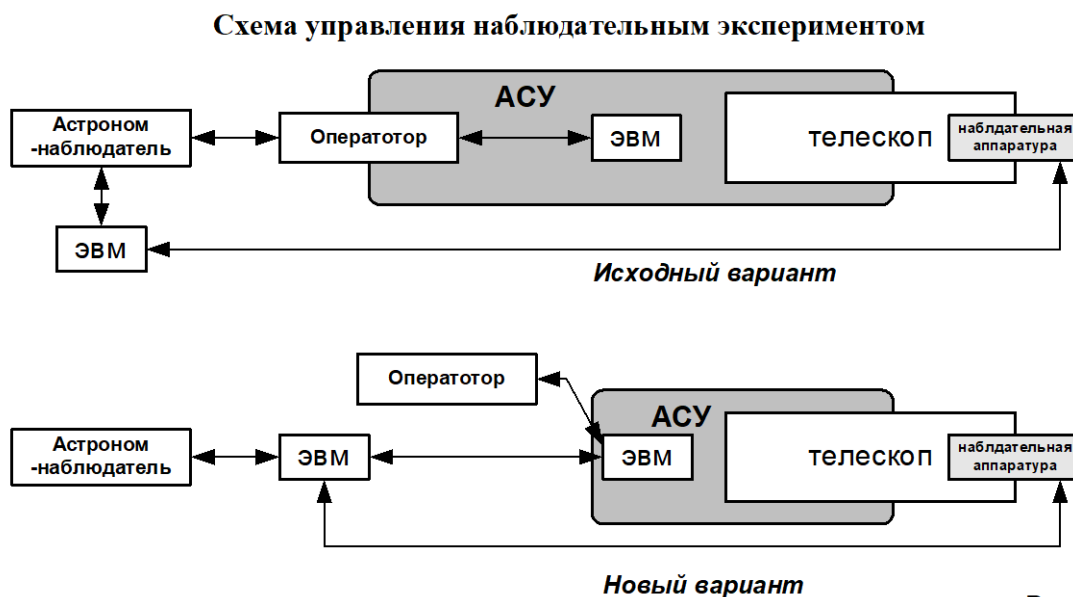


Рис1.

Вследствие, новая система должна обеспечивать управление телескопом не только через интерфейс оператора, но и иметь упрощенный интерфейс управления телескопом ориентированный на астронома наблюдателя. При этом система должна содержать все необходимые элементы защиты от ошибок и неверных действий.**

Естественным требованием является, чтобы процесс управления и сбора астрономической информации осуществлялся на базе современных сетевых технологий, что позволяет осуществлять режим дистанционного управления системой с любого сетевого компьютера, в том числе и через Internet. Этим же обеспечивается возможность реализации режима удаленных наблюдений.

*** В пределе, система контроля должна быть доведена до уровня “ безлюдной технологии”, когда контроль всех параметров, включая погодные условия, анализируются системой и в случае аварийной ситуации, при бездействии оператора, автоматически переходит в режим завершения.*

Требования к технической реализации

Система должна быть реализована с использованием современных технических и технологических решений и должна обеспечивать:

- Надежность, в расчете на период эксплуатации 15-20 лет.
- Простоту эксплуатации, в расчете на среднетехнический персонал.
- Возможность наращивания и реконфигурации системы, в соответствии с техническими и технологическими требованиями научного эксперимента.
- Открытую и стандартизованную технологию построения и развития системы.

Условия повышения надежности

Замена электромеханических аналоговых узлов телескопа на современные цифровые. Размещение контроллерных узлов в зонах концентрации механизмов, что позволит существенно сократить подвижные кабельные коммуникации и релейно-коммутационное оборудование.

Условие упрощения эксплуатации

Реализация системы по модульному принципу с возможностью оперативной замены любого модуля.

Автоматическое тестирование и самодиагностика всей системы и узловых элементов.

Условия наращиваемости и реконфигурации системы

Построение системы по принципу распределенной контроллерной сети с общей информационной магистралью, позволяющей наращивать сеть в требуемых пределах. Выбор аппаратной и программной платформы контроллеров, позволяющей оперативно осуществлять коррекцию или замену программного обеспечения, а так же имеющих резерв по аппаратному расширению.

Условие открытости и стандартизации технологии построения системы

Определение решений на этапе проектирования которые обеспечивают выбор:

- аппаратной платформы контроллеров с открытой архитектурой и стандартизованными протоколами интерфейсов и систем УСО;
- системы программного проектирования с использованием объектно-ориентированных языков, обеспечивающих возможность программирования на технологическом уровне элементов системы и ее узлов.

Выбор системы приводов

Используемые на главных осях привода, являются конечным, исполнительным звеном системы управления, обеспечивающие в итоге динамические и точностные характеристики работы телескопа.

Уникальная, разработанная специально для БТА, аналоговая система приводов, выработала свой ресурс и не обеспечивала эксплуатационных параметров.

Требовалось решение на основе современных, серийных, систем цифрового привода.

Требования, которым должны удовлетворять привода, следующие:

- Стабильность момента вращения, особенно на малых оборотах вращения, порядка единиц оборотов в мин.
- Для привода "Z". Диапазон регулировки скорости, от 0.2 до 4500об/мин., для перекрытия скоростей ведения и наведения телескопа. Ориентировочная мощность 3.5КВт.
- Для привода "А" (двух двигательная схема), Для двигателя ведения, скорость от 0.2 до 3000об/мин., мощность 0.5КВт. Для двигателя наведения от 0.2 до 2400 об/мин., мощность 3.5КВт.
- Контроллеры приводов должны поддерживать управление по CAN интерфейсу.

Выбор был сделан среди продукции немецкой фирмы SEW Eurodrive. Система сервопривода "MOVIDYN", где используются специальные безколлекторные двигатели постоянного тока, на постоянных магнитах, с датчиками обратной связи.

При замене на куполе башни двигателей постоянного тока на асинхронные, использовались частотные инверторы этой же фирмы, системы MOVITRAC, с управлением по CAN интерфейсу.

Выбор полевой шины

Алгоритм работы шины, является исходным условием, которое в последующем диктует всю логику построения программного и аппаратного обеспечения.

Наиболее простой и популярный интерфейс RS485, не подходил из-за необходимости программировать свою сетевую поддержку, не эффективности работы в режиме запрос ответ, сложности реализации мультимастерного режима, отсутствие Real-Time.

Готовое решение, обеспечивающее сетевой уровень, например PROFIBAS, это привязка к закрытому лицензионному продукту и оборудованию.

Ethernet, тогда еще 10Мбит на коаксиале, не устраивал из за коллизий и в следствие отсутствие Real-Time.

Лучшим выбором, для наших задач, был определен CAN-интерфейс (Controller Area Network), разработанный ф-мой Robert Bosch GmbH [1] где на схемном уровне (в кремнии), реализована часть сетевых функций, главные из которых:

- Мультимастерный режим, что позволяет любому узлу сети выставлять на шину сообщения по своей инициативе.
- Неразрушающий (безколлизийный) арбитраж доступа узлов к шине.
- Получение информации всеми узлами.
- Возможность аппаратного маскирования узлов, что позволяет отфильтровать от попадания в узел не актуальной для него информации.
- Достаточно высокая скорость передачи, при планируемой длине магистрали порядка 200м.:

1Мбит/с	при длине 60м;
500Кбит/с	-120м;
250Кбит/с	-240м;
125Кбит/с	-500м;
60Кбит/с	-1000м.

Сетевой протокол, который реализуется в CAN чипах, полностью открыт и обеспечивают следующие сетевые уровни:

- Физический уровень, определяющий электрические, временные параметры и алгоритм кодирования информации в линии.
- Транспортный уровень, обеспечивающий синхронизацию, арбитраж доступа к шине и формирование фреймов.
- Объектный уровень, осуществляющий фильтрацию и обработку состояния сообщений.

В дополнение к стандартному, аппаратно реализованному, базовому протоколу CAN (ISO-11898), существует несколько разработок, представляющих из себя программные надстройки протоколов высокого уровня.

Такие как: CAL, CANopen, DeviceNet, SDS, CAN-Kingdom, SAE J1939 и другие, реализующие разные уровни абстракций, работы сети, основное предназначение которых, освободить программиста от общения с физическими устройствами CAN интерфейса и за одно обеспечить некую универсальность для построения сетей разных назначений и конфигураций. Однако ни какая универсальность не обходится без издержек, это ухудшение или потеря Real-Time, существенная программная нагрузка на центральный процессор, если конечно в CAN-интерфейс не встроен периферийный процессор с соответствующим вшитым протоколом. В результате, любой подобный протокол, “чего то стоит”, только если он поддерживается во всем спектре аппаратных и программных продуктов, которые предполагается использовать в конкретном проекте. Положительный пример Ethernet, под который вряд ли можно найти продукцию без комплекта стандартных протоколов верхнего уровня, IP/TCP/UDP и т. д.

В случае с CAN, разнообразие высокоуровневых протоколов, говорит о том, что выбор какого либо из них, чреват проблемами стыковки с оборудованием не поддерживающих данный стандарт и жестко привязывает разработчика к поставщику продукта, и в программных, и в аппаратных решениях.

Хотя можно отметить, что наиболее развитым, в плане разнообразия оборудования, поддерживающих один из упомянутых протоколов, является CANopen. Протокол, в основном рассчитанный на построение сети с интеллектуальными датчиками, подключаемыми непосредственно к CAN шине.

Практические попытки использовать высокоуровневые протоколы CAN и CANopen, для наших задач, не дали положительных оценок по выше приведенным причинам и главное, в системе не должно быть "темных" мест, т.е. чего то работающего по принципу "черного ящика", что собственно и представляют из себя большинство коммерческих продуктов.

Применение высокоуровневых протоколов, в нашем случае, не давало ни каких преимуществ. Притом, если рассматривать CAN интерфейс, как систему, предназначенную для управления пространственно - ограниченными локальными объектами, то базовый протокол, является вполне самодостаточной, простой и эффективной системой.

Построение сети на основе базового CAN протокола, не создает ни каких проблем, которые надо было бы решать, к примеру, при построении подобной сети на основе популярного интерфейса RS485.

Сообщения по CAN шине передаются фреймом (кадром), где информационная часть может занимать размер от 1 до 8 байт. В случае управляющих систем, ограничение размера сообщения необходимо, чтоб обеспечить жесткий Real-Time, что крайне важно для процессов управления.

В начале фрейма следует 11-битный код идентификатора данных, который определяет еще и приоритет. Нулевое значение – высший приоритет, максимальное значение кода - низший.

Приоритеты работают так, узел, выставивший в шину идентификатор, одновременно по входу контролирует состояние на шине и если в каком то бите, в котором должна быть единица (высокое состояние шины), обнаруживается ноль, значит другой узел, формируя более приоритетный идентификатор, зашунтировал низким уровнем (нулем) единицу (принцип монтажного ИЛИ). Следовательно, первый узел потерял шину и должен прекратить передачу, и повторить ее после освобождения. В то же время, второй узел с более приоритетным сообщением передачу завершает.

Необходимо уточнить, что приоритетом на шине обладают не узлы, а данные, которые они передают и если узел многофункциональный, в его информационном потоке могут быть данные приоритетные и данные которые могут подождать.

Еще важной особенностью протокола CAN шины является аппаратное подтверждение приема данных.

В конце передаваемого фрейма узел формирует двух битное единичное состояние шины, которое должно быть подавлено (зашунтировано) приемным узлом. Приемный узел должен выставить в этот временной интервал на шину ноль.

Таким образом, передающий узел, контролирующий состояние шины “узнает”, что фрейм принят. Если передающий узел не получил подтверждение, то чип CAN

контроллера пытается повторить передачу, выставляя в регистре статуса бит ошибки передачи.

Однако, такой принцип синхронного подтверждения и синхронный арбитраж, накладывает жесткое ограничение на зависимость между скоростью передачи данных и длиной шины, когда бит подтверждения от приемного устройства должен добраться до передающего узла за время ожидания подтверждения, т.е.с учетом двойной задержки распространения сигнала по шине.

Благодаря принципу синхронного арбитража, CAN протокол является мультимастерным, любой узел может передавать данные, любой их принимать.

Протокол содержит еще ряд полезных особенностей, о которых более подробно [1].

Сообщения которые передаются по CAN сети, маркируются индивидуальным для каждого сообщения идентификатором.

Есть две версии определяющие формат фрейма, базовая, с 11-битным идентификатором и с расширенным идентификатором в 29 бит.

Отсюда следует, что в варианте с 11-битным идентификатором, в сети может быть всего лишь 2048 типов сообщений, с 29- битным идентификатором 512 миллионов.

Исходя из возможностей базового уровня CAN протокола, требовалось разработать план распределения идентификаторов с учетом предполагаемой структуры CAN сети:

- контроллерных узлов – до 7;
- контроллеров сервопривода и частотного привода –до 20.

В плане требовалось выделить следующие группы идентификаторов:

- для сообщений разных типов с учетом приоритетов.
- для работы цифровых приводов фирмы SEW Eurodrive, имеющих свой протокол работы в CAN сети.
- идентификаторы для обращения к контроллерным узлам.

Для того, что бы избежать программной сортировки сообщений, попадающих в конкретный узел сети, идентификаторы необходимо было распределить так, чтоб система маскирования (фильтрации) идентификаторов пропускала в конкретный узел только предназначенные ему сообщения.

Схема фильтрации зависит от используемого в CAN интерфейсе контроллерного CANчипа. В нашем случае это SJA 1000 ф-мы Philips, который поддерживает варианты стандартного 11-битного и расширенного 29-битного идентификатора фрейма [2].

В стандартном варианте, возможна фильтрация только старших восьми бит, младшие три не учитываются.

Фильтрация реализуется следующим образом. В восьми разрядный регистр выделенного кода, вносится код, с которым сравниваются 8 старших разрядов идентификатора каждого сообщения.

В случае побитного совпадения, сообщение поступает в приемный буфер, в ином случае игнорируется. Для расширения количества принимаемых идентификаторов, есть регистр маски, где установка бита или битов в каких либо разрядах, маскируют значения соответствующих разрядов в регистре выделенного кода. Т.е. при сравнении идентификатора с выделенным кодом, сравниваться будут только не маскированные разряды в данном коде.

Это позволяет расширить диапазон принимаемых идентификаторов.

Т.к. фильтруется только 8 старших разрядов, значит 11-битный диапазон, т.е. 2048 идентификаторов, надо разбить на 256 зон по 8 идентификаторов в каждом. Т.е. определяя, старшие 8 разрядов как базовый код идентификатора, а 3 младших как расширение, можно строить план из 256 полностью маскируемых (фильтруемых) значений. Это позволяет настроить систему масок так, что при единственном выделенном коде, узел будет принимать, только восемь идентификаторов, что позволяет исключить процесс программной сортировки. Соответственно, маскируя какие то биты, можно расширить диапазон принимаемых идентификаторов.

В варианте с расширенным фреймом, 29 бит, используется более совершенная, двойная система фильтрации, да и выбор идентификаторов там практически не ограничен [2], но в нашем случае 11-разрядного поля было вполне достаточно.

На рис.2 приведен общий план распределения идентификаторов.

План распределения идентификаторов

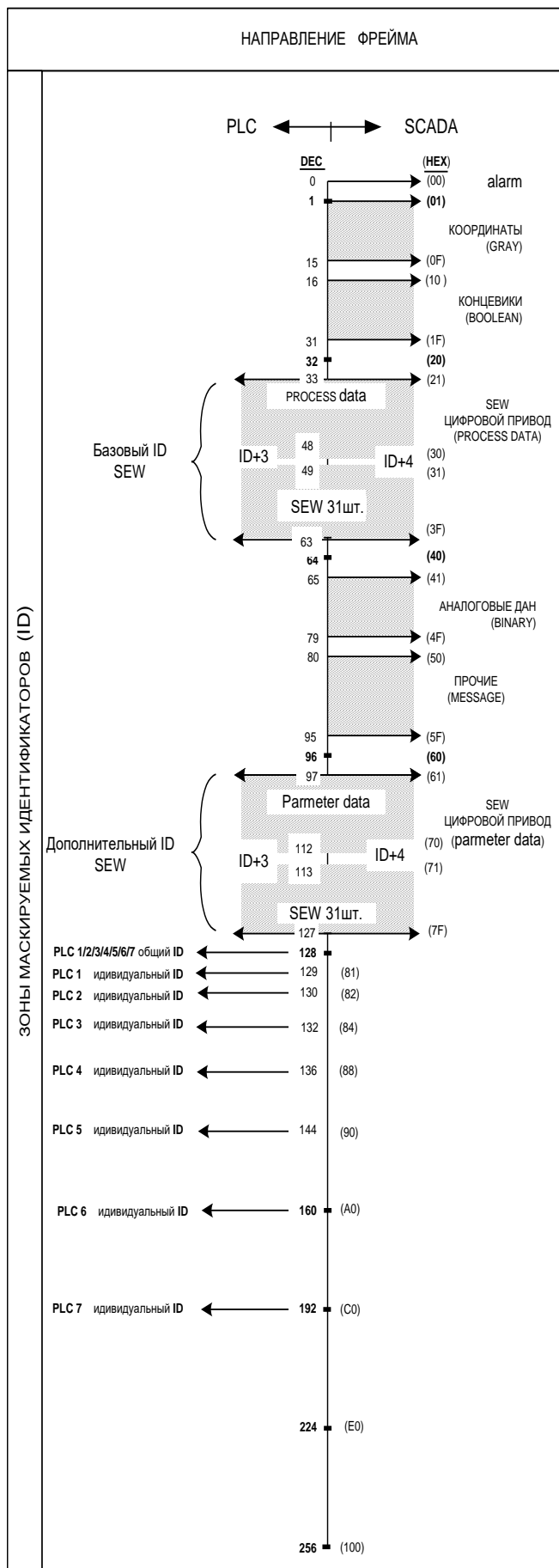


Рис 2.

С учетом данных особенностей, была сделана оценка технологических параметров CAN-шины, для использования ее в качестве полевой шины РСУ.

- Расчетная длина шины, в соответствии с планом размещения узлов, порядка 190м. Т.к. длина шины определяет максимальную рабочую скорость, то возможная скорость в этом случае составляет 250Кбит/с. Оценка трафика для максимально возможной загрузки, определялась следующим образом. Принимая один фрейм отправляемый по шине за единицу информации, т.е. бод (bod)**, максимальная пропускная способность составляет $250000\text{бит}/100\text{бит}=2500\text{бод}$ (где 100 бит усредненная длина фрейма с запасом, полагая, что большая часть сообщений, будет иметь длину данных менее 8 байт). Предположительная усредненная загрузка шины от одного узла не превысит 100бод/с (фреймов), значит общая загрузка составит $100\text{бод/с} * 7\text{узлов} = 700\text{бод/с}$ или 28%. Это хороший запас, который в свою очередь, снижает вероятность задержек при передаче низко приоритетных сообщений.
- Принцип неразрушающего арбитража в CAN-шине, позволяет организовать процесс передачи данных в мультимастерном режиме, когда любой контроллер может занимать шину по своей инициативе. Это дает возможность реализовать асинхронный процесс передачи данных, “одновременно” от всех контроллеров, не координируя их внутренние циклы.
- Далее, принцип циклической передачи данных, позволяет упростить протокол работы шины, в сравнении с традиционным алгоритмом запрос – ответ. Притом почти вдвое снижается трафик загрузки шины. Асинхронная циклическая передача данных каждым узлом, не требует подтверждение приема. Потеря одного или даже нескольких фреймов, не является фатальной, пока не превысит определенного предела. Управляющая система должна регистрировать все потери, контролируя пределы девиации циклов, для каждого типа данных и выдавать предупреждение в случае их обнаружения.. Аппаратное подтверждение приема в CAN-шине, является дополнительным средством контроля передачи со стороны контроллерных узлов. В случае отсутствия подтверждения, узел должен выставить на индикаторной панели состояние ошибки CAN-шины.

*** (В применении современной терминологии постоянно путают понятия **бод** (bod) и **бит** (bit). Но если бит, он и есть бит, т.е. единица информации для бинарного кода, то бод, пришедший из телеграфии, определяет единицу информации как символ, который может кодироваться разным количеством бит в зависимости от кодировки, или иметь переменную длину, пример код “ Морзе”. Значит бод, применительно к современным последовательным системам передачи информации, позволяет оценить пропускную способность канала на уровне дискретного сообщения. Например, один бод для интерфейса RS232, это 8 информационных бит плюс стартовый и стоповый, если порт настроен на такой формат, и того 10. Значит 960бод для скорости 9.6Кбит.)*

Наличие данных свойств протокола CAN наилучшим образом встраивалось в функциональную схему системы управления телескопом, что и определило ее выбор, и последующий выбор аппаратной платформы.

Выбор контроллерной платформы и системы проектирования

Современная промышленность предлагает огромный спектр самых разнообразных контроллерных изделий, начиная от Чип- контроллеров и завершая крейтовыми конструкциями, такими как, VME, Compact PCI и промышленными компьютерами. Системы типа VME и Compact PCI для использования в качестве узловых элементов несколько громоздки, в нашем случае избыточны и главное дороги. Оптимальный выбор надо было делать в более низкой ценовой категории, среди микромодульных или микрокрейтовых конструкций.

Требования, которым должен удовлетворять контроллер были следующими:

- Возможность работы в многозадачном режиме;
- Сопровождение системой программного проектирования с использованием объектно-ориентированных языков, обеспечивающих возможность программирования на технологическом уровне.
- Развитую систему устройств сопряжения с объектами (УСО).
- Поддержку CAN интерфейса.
- Отсутствие электромеханических элементов ограниченного ресурса, таких как вентиляторы и т.п.

Окончательный выбор был сделан среди продукции немецкой фирмы PEP Modular Computers (теперь называется Kontron), контроллера типа IUC32.

- Центральный 32-х битный коммуникационный процессор MC68EN360, фирмы Motorola, со встроенными портами Ethernet и два RS232. Для связи с УСО применяется параллельная 16-и разрядная системная шина CXC (укороченный вариант VME).
- Широкая номенклатура модулей УСО, цифрового ввода-вывода, ЦАП-АЦП, а так же интерфейсных модулей CAN, RS232/485/422 и т.д.
- Встроенная операционная система реального времени OS9.
- Система разработки и объектного программирования ISaGRAF.

Поставщиком контроллерного оборудования является фирма RTSoft, Москва.

Инструментальная система разработки целевых проектов

Система разработки ISaGRAF поставляется, фирмой производителем оборудования "Kontron", в комплекте с контроллерным оборудованием.

Собственно, это программный комплекс, позволяющий с помощью персонального компьютера подготовить программный проект для ПЛК.

Система, разворачивается на персональном компьютере и связывается с контроллером через Ethernet. По этому интерфейсу в контроллер IUC32 загружается программный проект и осуществляется трассировка и отладка программ, и выход в операционную среду контроллера OS9. Связь с операционной средой, также может осуществляться и по терминальному интерфейсу RS 232 с, но процессы загрузки и трассировки проекта идут существенно медленней.

ISaGRAF содержит несколько специальных объектно – ориентированных языков [3] позволяющим программировать контроллер на технологическом уровне, а также ряд важных утилит необходимых для отладки проекта **рис3**.

Вид панели ISaGRAF при программировании задачи на языке FDB

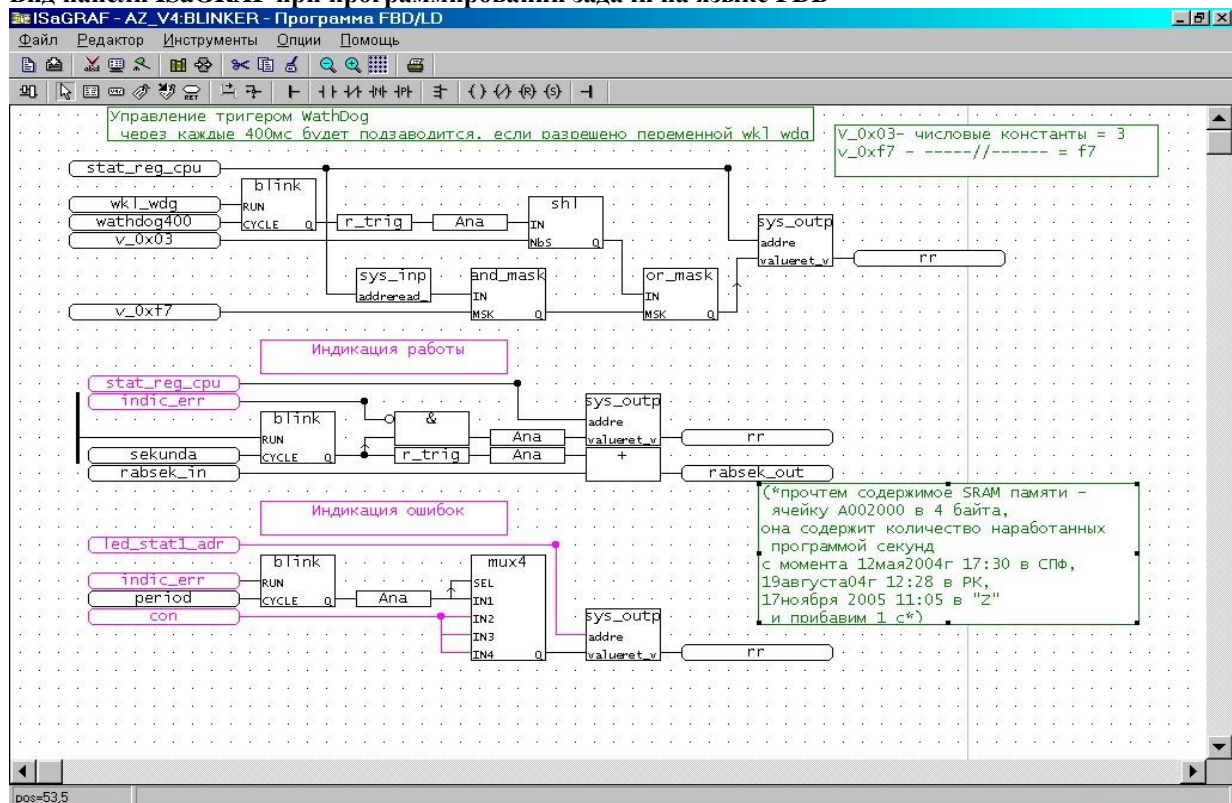
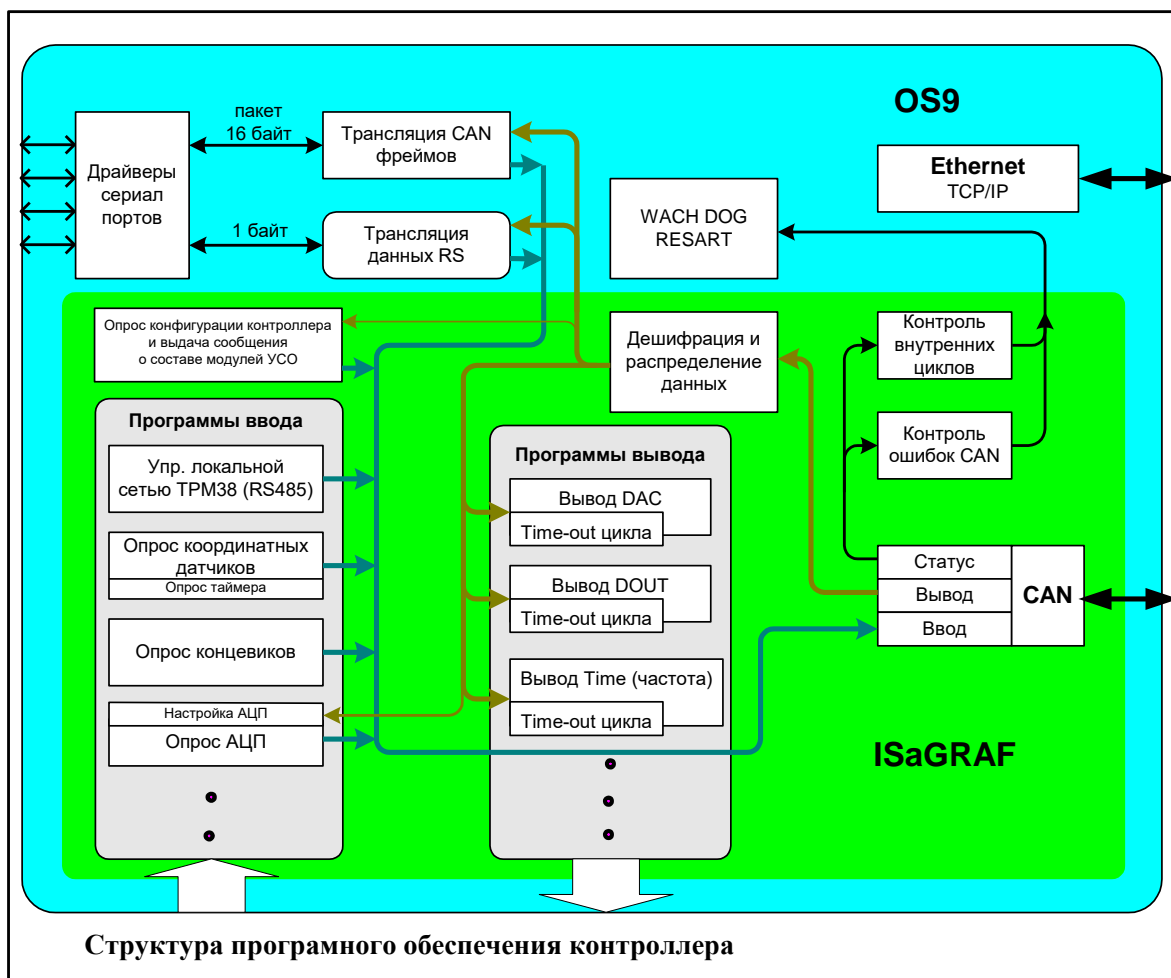


Рис 3.

Хотя ISaGRAF достаточно мощный инструмент, позволяющий легко конструировать параллельные циклические процессы с периодом от 10мс и более, но в случае, когда требуется более быстрая реакция без профессионального языка “С” не обойтись.

В то же время, ISaGRAF рассчитан на предмет включения в него дополнительных функций и подпрограмм, написанных пользователем, что в большинстве случаев, позволяет решить проблему.

При разработке узловых проектов ISaGRAF использовался как скелетная конструкция которая дополнялась специальными функциями на “С”, в основном ввода-вывода, или некоторыми подпрограммами, необходимыми для реализации условий жесткого Real-Time.



Отладку работы протоколов и взаимодействие по CAN-шине осуществляли на этом же комплексе, снабженным CAN интерфейсами со стороны контроллера и инструментального PC.

Для тестирования CAN-шины, была разработана программа CAN-монитора, с графическим интерфейсом, позволяющая легко программировать любые циклические процедуры на шине. Это существенно облегчило процесс тестирования CAN-сети, в отличие от фирменного монитора к CAN-карте PCL-841 (Advantech), где в CAN можно отправить только один фрейм, с клавиатуры. Монитор позволяет формировать образ фреймов в бинарном и шестнадцатеричном (hex) формате, что очень облегчает процесс визуального контроля. Монитор может работать с драйверами под CAN-карты PCL-841 (Advantech) и PCI-7841 (Adlink) [<http://www.sao.ru/hq/slkom/canmon/canmon.htm>]

Алгоритм взаимодействия распределенной сети

Определение термина.

Термин “распределенная сеть управления” определяет только некоторую совокупность территориально распределенных объектов связанных сетью. Сам принцип управления может быть локальным, или централизованным, или в любой смешанной форме и определяется функциональной логикой решаемой задачи.

Например, управление дорожным движением может осуществляться по локальной схеме, когда каждый дорожный узел управляется по своему алгоритму, а центральный (диспетчерский) узел только отображает информацию. Либо смешанная схема, когда центральный узел участвует в оптимизации транспортных потоков, корректируя алгоритмы локальных узлов. Определяющим в такой схеме является высокая живучесть, выход из строя локального узла, или даже центрального, не обвалит всю сеть. Прочие узлы будут работать, по своим алгоритмам, управляя транспортными потоками в локальных точках.

Для системы управления телескопом, оптимальной является схема с распределенной системой сбора и исполнения, и централизованной системой контроля и управления. Т.е. все контроллеры распределенной сети собирают информацию о текущих процессах и отправляют ее в управляющую ЭВМ. Управляющая ЭВМ ведет все расчетные процессы и возвращает управляющую информацию в контроллеры, которые ее исполняют.

Для данной схемы, выпадение любого звена является аварийной ситуацией и централизованная схема контроля должна перевести все исполнительные процессы в узлах сети в режим завершения.

Поскольку в качестве управляющей шины выбран CAN- интерфейс, то его протокол позволил реализовать очень простой и эффективный алгоритм работы сети.

Все данные, поступающие с телескопа от контроллеров, разделены на типы и каждому типу данных выделен диапазон в общем идентификаторном поле, с учетом приоритетов **рис2.**

Каждый контроллер на CAN шине работает независимо.

Т.е. каждый контроллер собирает и выдает в CAN шину данные по своей инициативе, в соответствии с внутренними алгоритмическими циклами, для каждого типа данных.

Например: координата азимута –12Гц, состояние концевиков –1Гц, давление масла – 0.5Гц температура масла 1раз в 5 минут

Благодаря синхронному не разрушающему арбитражу CAN –протокола, CAN – чипы узлов сами “разруливают” информацию в шине в соответствии с приоритетами идентификаторов.

В основном, данные, следующие по CAN шине, предназначены управляющей программе. *(Хотя часть информации, относящаяся к параметрическим данным оборудования, а также метеоданные, параллельно выбираются Инструментальной Базой Данных.)*

Управляющая программа обрабатывает информацию и выдает команды исполнительным узлам. В каждый узел попадает только предназначенная ему информация, в соответствии с выделенными идентификаторами.

Информация, поступающая в узел, может быть управляющей или командной. Управляющая информация должна дублироваться с определенной частотой, в зависимости от процесса управления (в среднем 5-1Гц). Если контроллер не получает подтверждение, срабатывает time-out и процесс завершается.

Такой алгоритм обеспечивает защиту от аварийных ситуаций при отказе управляющей программы. По такому же принципу управляющая программа контролирует состояние узлов. В случае прекращения циклической передачи информации от узла, либо части информации управляющая программа выдает сообщение об отказе и может завершить общий процесс.

Командная информация, это однократные посылки, со стороны управляющей системы, для изменения режимов работы контроллера. Таких как, отключение или включение программных циклов, или изменения некоторых циклов, перезагрузка контроллера или запрос аппаратной конфигурации.

Некоторые моменты Реал-Тйма.

Хотя все задачи в контроллере работают “параллельно”. Это вызывает некоторую девиацию частоты циклов опроса и передачи данных в CAN. Сюда же накладываются и арбитражные задержки, при выдаче данных на шину, плюс задержки на приемном конце.

(При скорости CAN-шины 250Кбит/с арбитражные задержки могут достигать значения 0.5-1мс для самых высокоприоритетных данных.)

Для данных, определяющих координаты телескопа это недопустимо, потому контроллер при считывании с датчика значений азимута, приклеивает к ним метку времени. Это позволяет управляющей программе учитывать задержку доставки при последующем расчете реальной координаты и скорости телескопа. По такой же схеме работают контроллеры, передающие положение зенитной оси и позиционного угла телескопа. Для прочих данных сетевые задержки не существенны и фиксируются по времени в момент поступления, в CAN-драйвере управляющей системы.

Сетевые уровни системы управления.

Сетевую структуру системы управления, условно можно разбить на три уровня, обеспечивающих взаимодействие всего программного комплекса. Рис5.

Нижний уровень, уровень датчиков и локальных интерфейсов сбора и управления.

На данном уровне осуществляется непосредственное взаимодействие контроллерных узлов с исполнительным и измерительным оборудованием. Главная задача узлов обеспечить на данном уровне стыковку с оборудованием любых стандартов и систем, том числе с поддержкой протоколов локальных сетей на основе интерфейсов RS/232/485/422

Средний уровень, уровень системного взаимодействия.

Главная задача узлов, редуцирование собранной информации, ее идентификационная маркировка и передача в управляющую систему. Получение и исполнение управляющей информации от диспетчерской системы, а также от других узлов обеспечивающих сетевую алгоритмическую систему блокировок.

Верхний уровень, уровень Ethernet интерфейса обеспечивающий удаленный доступ и поддержку графических интерфейсов управления телескопом. Включая доступ к локальной Ethernet шине для выхода на операционные системы контроллерных узлов.

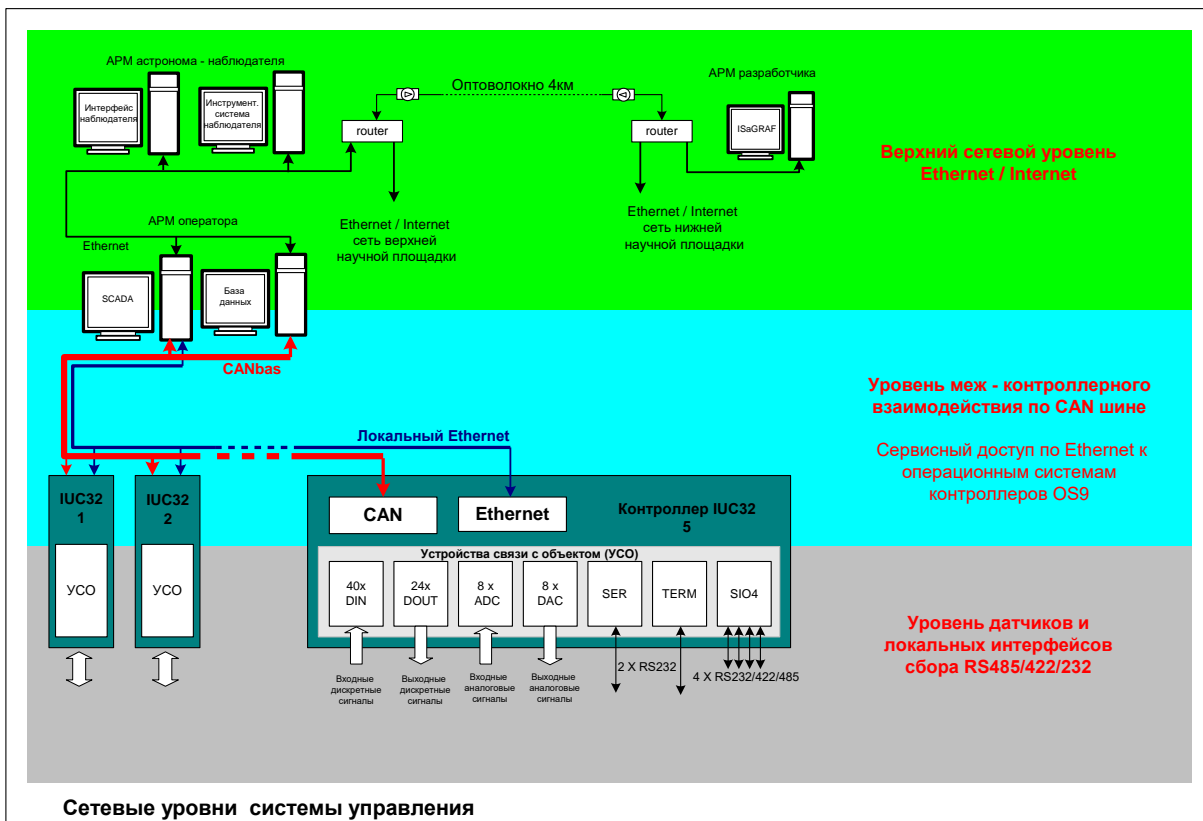


Рис5.

Управляющая диспетчерская система

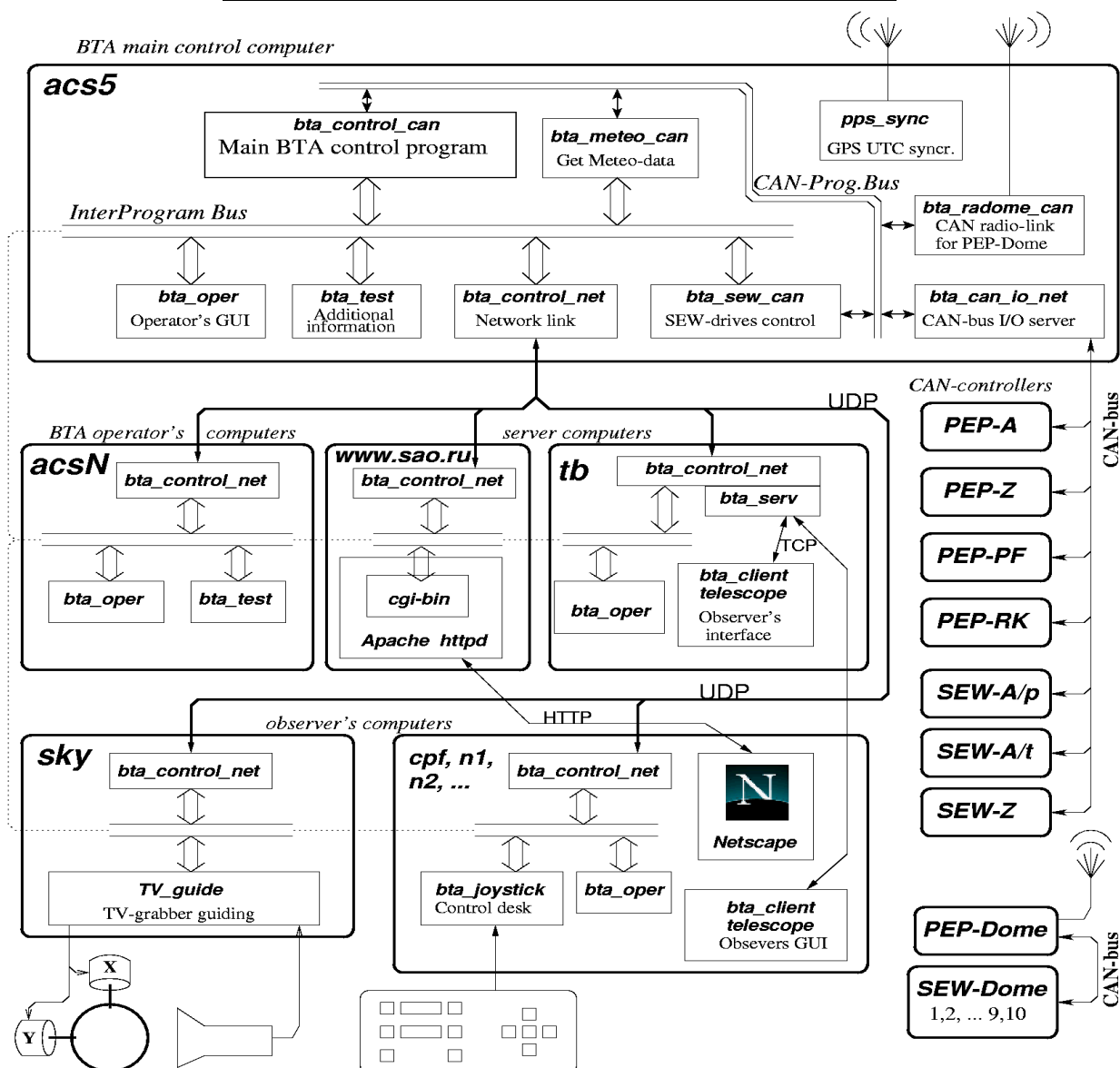
« SCADA» (Supervisory Control And Data Acquisition System - система сбора данных и оперативного диспетчерского управления).

Разработка управляющей программы БТА была начата в 1998 году, хотя к этому сроку уже были сделаны определенные наработки.

В качестве операционной среды, под которой велась разработка пакета управляющих программ, использовался LINUX, открытая и бесплатная операционная система, которая давно доминирует в сфере сетевых технологий и все больше внедряется в сферу встраиваемых систем [4]. Опыт работы с данной системой (используется в обсерватории с начала 90-х годов), позволил осуществлять самостоятельную разработку SCADA-системы и не завязываться на коммерческие интегрированные пакеты разработки SCADA-систем. Такое решение, позволило иметь полностью открытый продукт, в исходном коде и не иметь особых проблем при переносе пакета программ на следующие версии операционной системы.

В настоящее время “SCADA” система содержит пакет программ, часть из которых обеспечивает алгоритм управления телескопом [\[http://www.sao.ru/hq/vsher/manuals/bta_control/\]](http://www.sao.ru/hq/vsher/manuals/bta_control/) и взаимодействие всех компонентов системы управления, и пакет обеспечивающий сетевую поддержку графических интерфейсов [\[http://www.sao.ru/hq/vsher/manuals/bta_oper/\]](http://www.sao.ru/hq/vsher/manuals/bta_oper/) и ряд сервисных программ, ориентированных на астронома – наблюдателя. Рисб. Например, программа автоматического гидирования телескопа через ПЗС матрицу телевизионного гида. [\[http://www.sao.ru/hq/vsher/manuals/tvguide_announce/\]](http://www.sao.ru/hq/vsher/manuals/tvguide_announce/)

Архитектура программного обеспечения РСУ БТА

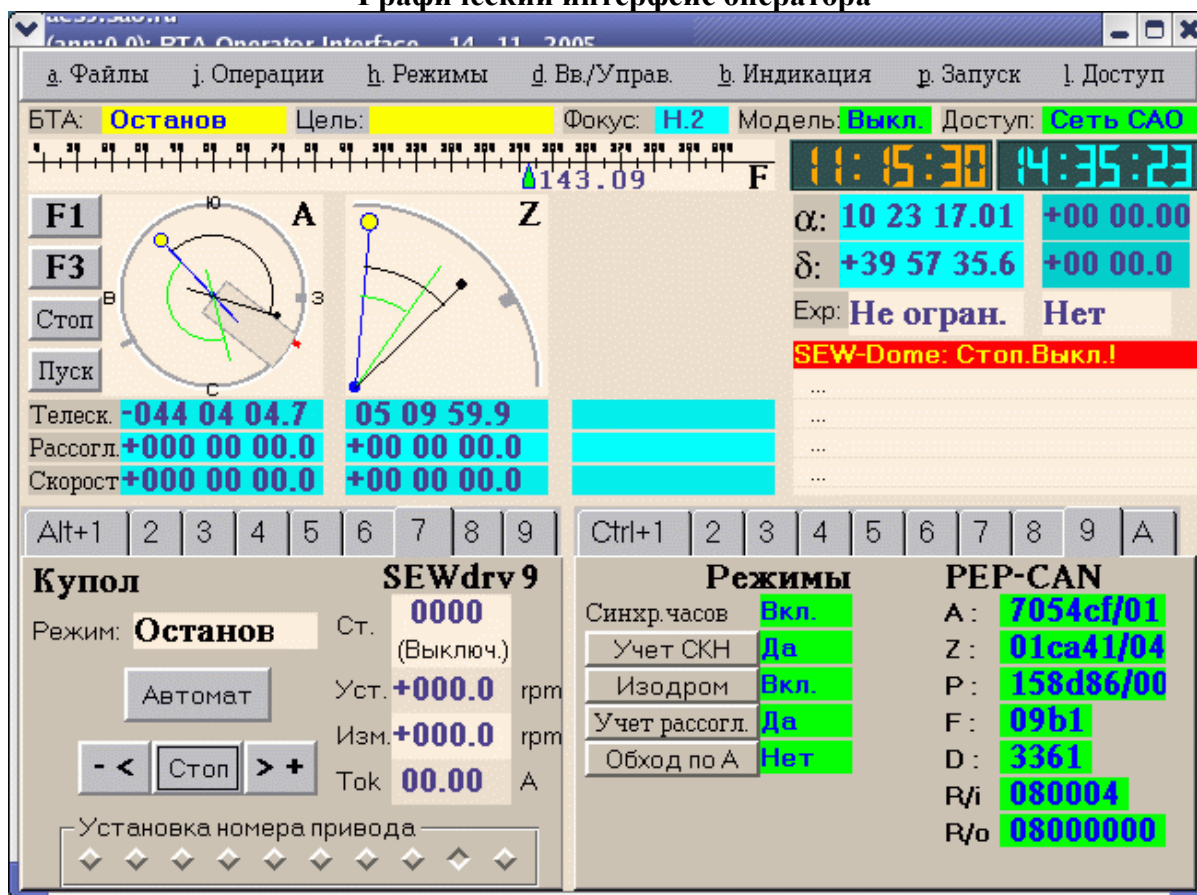


Условные обозначения:

acs5 – компьютер “SCADA” системы. acsN, tb, sky - . компьютеры аппаратной астронома-наблюдателя; cpf, n1, n2 - компьютеры в рабочих зонах фокусов телескопа; PEP-A, PEP-Z, PEP-PF, PEP-RK, PEP-Dome – узловые контроллеры; SEW-A/p, SEW-A/t, SEW-Z, SEW-Dome -узловые контроллеры сервопривода.

Рис 6.

Графический интерфейс оператора



Вид одной из панелей управления

Система звездного времени

Для расчета координат и слежением телескопа за астрономическими объектами, в системе управления необходимо иметь звездное время. (Звездное время идет несколько быстрее солнечного, учитывается дополнительный оборот земли вокруг солнца за год.)

В старой системе, для этой цели, существовала специальная служба точного времени, занимавшая отдельное помещение. Где находились термостатированные шкафы с кварцевыми генераторами и делителями. Позднее использовались специальные приборы, синхронометры, которые необходимо было корректировать каждую неделю по сигналам специальных радиостанций.

В настоящей системе реализована “служба точного времени” на основе временных меток получаемых через Систему Глобального Позиционирования (GPS).

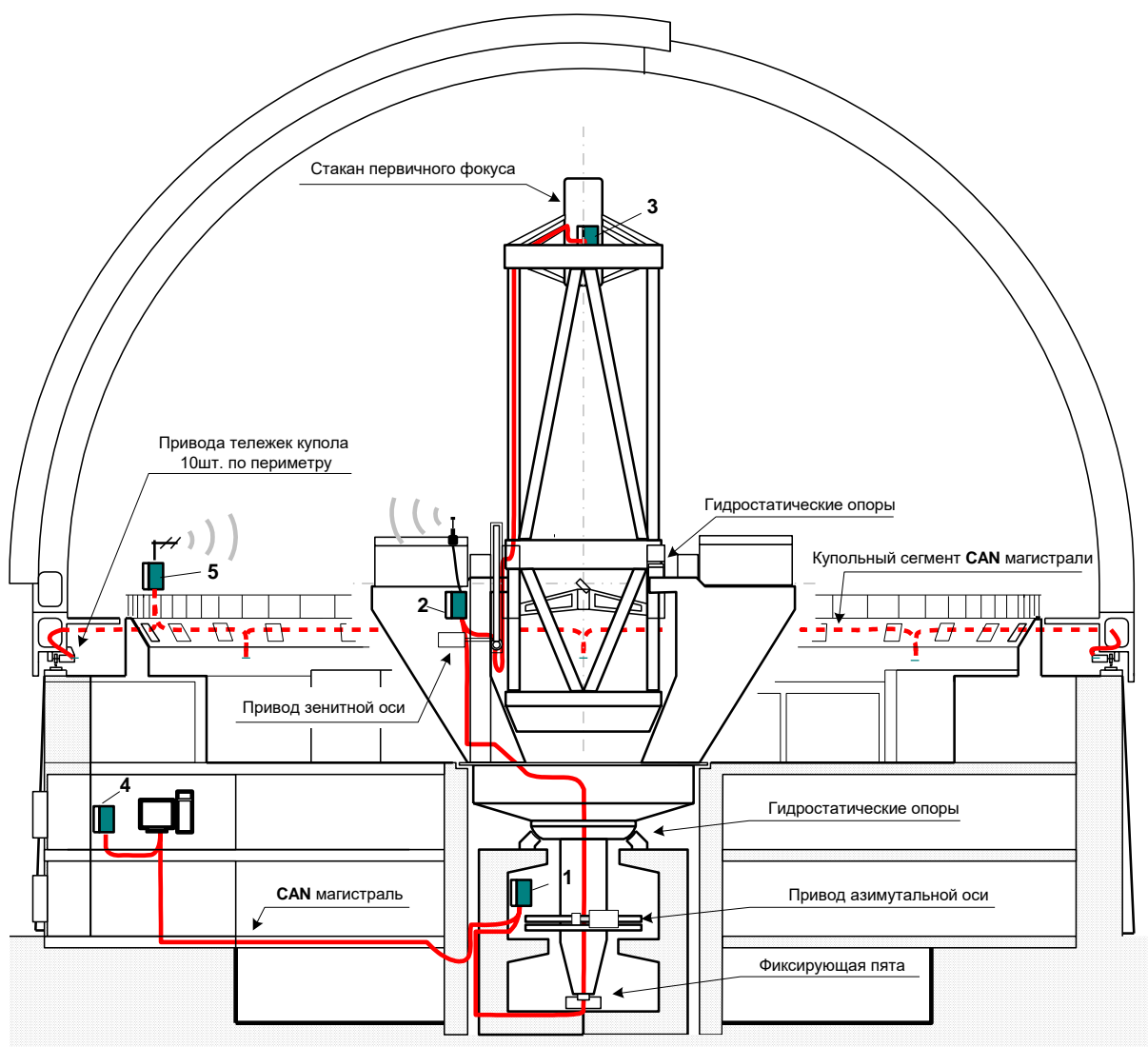
Разработан программный комплекс, высчитывающий точное солнечное время по информации с GPS и интернет-серверов времени. Для расчета звездного времени, к солнечному рассчитывается поправка, которая периодически корректируется, по интернет- бюллетеням доступным по FTP из USNO (<ftp://maia.usno.navy.mil/ser7/ser7.dat>). Для облегчения скачивания новой версии этого файла написан специальный командный файл и размещен в домашнем справочнике оператора.

Схема размещения узлов

Конструктивная архитектура телескопа определяла 5 зон (рис8.), где требовалось разместить контроллерные узлы:

1. Помещение Азимутального привода, где размещаются исполнительные привода "А", для вращения телескопа по вертикальной оси.
2. Боковая стойка телескопа, в конструктивной зоне размещения привода "Z", для вращения телескопа по горизонтальной оси..
3. Стакан первичного фокуса, в кабине, где устанавливается регистрирующая астрономическая аппаратура.
4. Помещение со стойками релейно – коммутационной аппаратуры, смежное с диспетчерским помещением, где размещен пульт управления.
5. Внутренняя сфера купола, около механизмов купольной щели.

Размещение контроллерных узлов и прокладка системной магистрали по конструкциям телескопа



1- контроллерный узел привода "А"; 2- узел привода "Z"; 3 - узел СПФ; 4 - узел РКА; 5- купольный узел.

Рис8.

Пространственное расположение этих зон, позволяло объединить первые 4 узла через штатные кабельные каналы, полевой шиной с длиной до 190м. Подключение 5-го узла размещаемого на подвижной части купола, в общую цепь полевой шины исключалось последующим причинам:

- Прокладка отдельного кабеля, полевой шины, через блочно-тросовую систему выборки кабеля исключалось, т. к. там используются специальные кабели, выдерживающие тяговую нагрузку в несколько сот килограмм. Длина укладки кабеля, на блочном механизме, около 200м;
- Передача интерфейсных сигналов, по резервным линиям штатных кабелей, не возможна из-за мощных электромагнитных наводок возникающих в параллельных цепях при коммутации многокиловаттных нагрузок купольного оборудования;
- Низкая надежность подвижной системы, ресурс одного кабеля не превышает 2-х лет.

Единственным решением, обеспечивающим доступ к контроллеру размещаемому на куполе был радиоканал.

Притом., управление куполом по радиоканалу, позволит упразднить все сигнальные кабели на блочно-тросовом механизме выборки кабеля, кроме силового. Это существенно повысит надежность и снизит эксплуатационные расходы на регулярную замену специальных дорогостоящих кабелей.

Одновременно обеспечивается свобода технологических решений по управлению купольным оборудованием.

Схема радиоканала реализуется следующим образом, на контроллерный узел размещенный в боковой стойке телескопа (привод “Z”), подключается радио-модем, антенна которого устанавливается на балконе боковой стойки. Вторая антенна и модем монтируются на боксе купольного контроллера, установленного на внутренней сфере купола. Таким образом антенны находятся на расстоянии 20 – 30 метров, и в таком случае, достаточно мощности передачи на уровне 10мВт. Рис8.

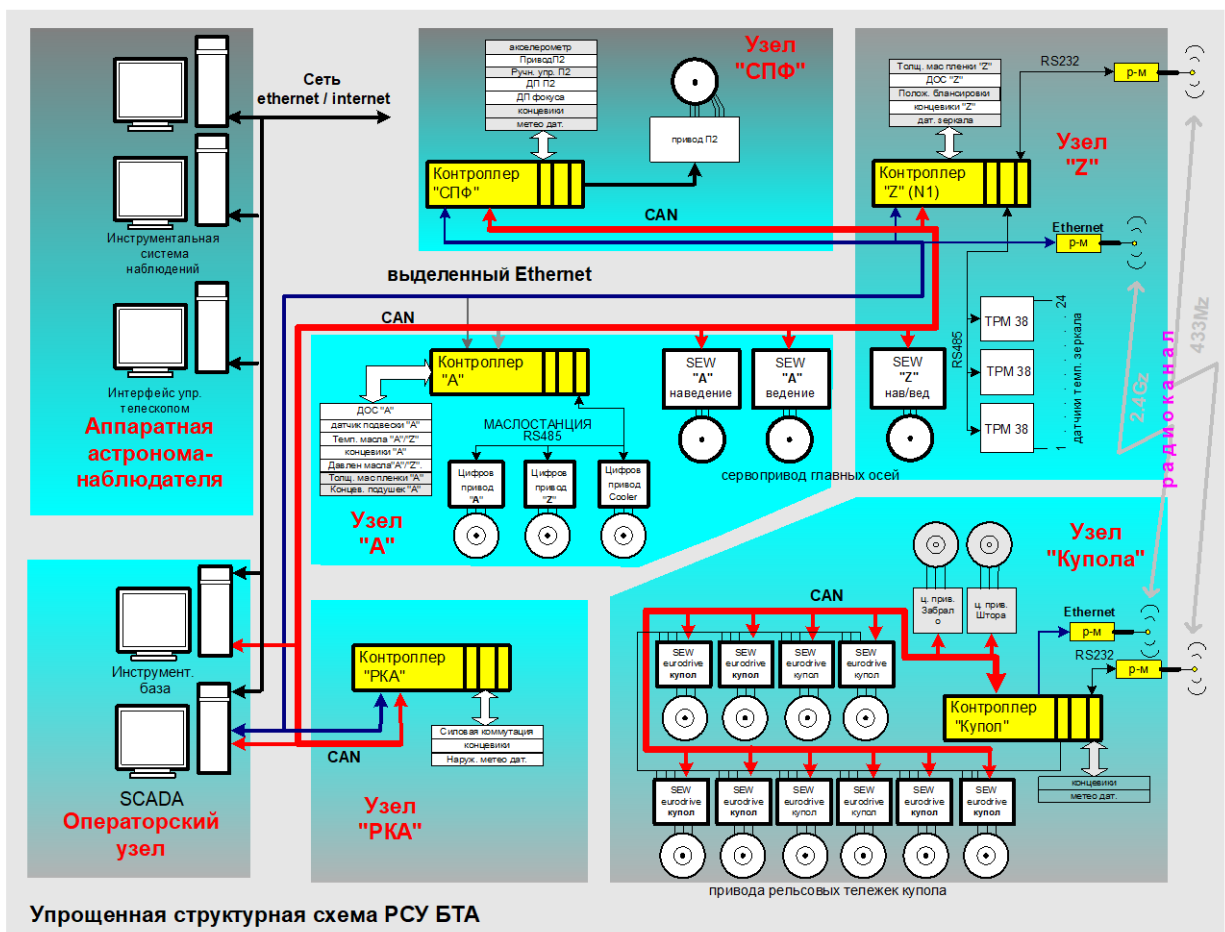
Т.к. в качестве системной шины сети контроллеров используется интерфейс CAN, необходимо было разработать для контроллеров поддерживающих радиоканал, программный конвертор позволяющий передавать информацию из CAN-шины по эфиру, в дуплексном режиме, через радио- модемы с RS232 интерфейсом. Купольный контроллер, получая из эфира пакеты, разбирается, ему ли они непосредственно предназначены и в ином случае транслирует их в сегмент купольной CAN-шины.

Т.е. обеспечивается режим “прозрачной” связи, когда все устройства расположенные на CAN –шине за радиомодемом “выглядят” как устройства на основном участке CAN-шины.

Разумеется, что радиоканал, связывающий два участка CAN-шины, является узким местом, ограничивающим трафик купольного сегмента, (приблизительно 40 фреймов/с, в одном направлении). Но, в данном случае достаточный, для функций управления купольным оборудованием.

Для организации радиоканала, использовались радиомодемы отечественного производства, “Спектр 433”, обеспечивающие по внутреннему протоколу контроль и защиту информации при возможных помехах в эфире.

В настоящее время контроллерная сеть состоит из 5 –ти узлов и обеспечивают все процессы управления, которые поддерживались прежней системой. Программное обеспечение узловых контроллеров реализовано по модульному принципу, работающее в многозадачном режиме. Это облегчает последующие доработки и расширение функций узлов, при подключении новых задач.. Аппаратная часть контроллеров содержит базовый набор УСО, с запасом на последующие расширения подводимой информации и выходных сигналов управления. Таких как АЦП -8 каналов, интерфейсный модуль RS 232/485/422 на 4 канала, модулей ввода/вывода на 40 дискретных сигналов, а также резерв для установки дополнительных модулей УСО.



Предварительный результат

К настоящему времени, базовая часть проекта полностью завершена. Дальнейшие работы связаны с расширением функций системы. Вывод на полный уровень автоматизации и исключение человеческого фактора из рутинных процессов управления.

Основные этапы реализации базовой части проекта

- 1999г.** 1. Разработка Общего Технического Задания на Распределенную систему управления (ОТЗ РСУ)
2. Проработка концептуальных решений.
3. Комплексование системы (оборудование / поставщики / технологии).
- 2000г.** 1. Введена в эксплуатацию базовая версия SCADA системы (Supervisory Control And Data Acquisition System), обеспечивающая управление телескопом и взаимодействие с сетевыми приложениям графических интерфейсов оператора и наблюдателя.
2. Осуществлен перевод на цифровые инверторы приводов маслостанции телескопа.
- 2001г.** 1. Введен в опытную эксплуатацию цифровой привод SEW EURODRIVE на азимутальной оси телескопа.
- 2002г.** 1. Введен в опытную эксплуатацию цифровой привод SEW EURODRIVE на зенитной оси телескопа.
2. Введен в опытную эксплуатацию 1-й узел РСУ"А" на Азимутальной оси.
- 2003г.** 1. Введен в опытную эксплуатацию 2-й узел РСУ"Z" на Зенитной оси.
- 2004г.** 1. Осуществлена замена двигателей постоянного тока на асинхронные, на приводе купола, с управлением от цифровых инверторов. SEW EURODRIVE
2. Введен в опытную эксплуатацию 3-й узел РСУ "СПФ" в Стакане Первичного Фокуса.
3. Введен в опытную эксплуатацию 4-й узел РСУ "РКА" Релейно - Коммутационного Автомата.
- 2005г.** 1. Введен в опытную эксплуатацию 5-й узел РСУ "КУПОЛ" управления куполом.

Заключение

Результаты реализации проекта:

Создан программно-технический комплекс, отвечающий современному уровню систем управления и условий эксплуатации.

За период опытной эксплуатации не было ни одного отказа связанного с элементами новой системы. Единичные отказы на периоде нескольких лет, были связаны с еще не модернизированным устаревшим оборудованием, но возможности диагностирования новой системы позволили оперативно устранять неисправности.

Улучшены условия труда оператора, пульт управления размещается в теплом благоустроенном помещении. Система оповещает оператора о внештатных ситуациях звуковым сигналом и информационным сообщением, освобождая оператора от постоянного присутствия за пультом.

Реализован вариант передачи управления телескопом, астроному – наблюдателю, с дополнительными сервисами в интерфейсе наблюдателя

В процессе построения новой системы, были параллельно решены важные вопросы по модернизации контролю и настройкам механических узлов телескопа, такие как:

Модернизация маслостанции телескопа [<http://www.sao.ru/hq/sekbta/Maslo/node2.html>]

И ряд других вопросов, связанных с настройками механизмов. Реализация данных работ стала возможна благодаря новым средствам контроля и возможностям новой системы управления.

Весь комплекс работ позволил заметно улучшить динамические характеристики телескопа.

Завершение базовой части проекта, это всего лишь перенос всех функций старой системы в новую. Но в то же время, это создание открытой платформы с достаточным ресурсом для последующего развития.

Именно возможности развития и функционального расширения системы, позволят в дальнейшем вывести систему на современный уровень автоматизации, и полного контроля.

Литература

1. Карпенко Е.В. "Возможности CAN – протокола", Современные Технологии Автоматизации (СТА) 4/98г.
2. Peter Hank, Stand-alone CAN controller AN79076, Systems Laboratory Hamburg Germany.
3. Шамашов М.А. "Инструментальная система программирования логических контроллеров ISaGRAF", Университет Наяновой 97г.
4. Золотарев С.В. "Применение BlueCat Linux для построения встраиваемых систем", Мир компьютерной автоматизации (МКА) 5/04г.

Исполнители проекта:

Руководитель проекта

Власюк В.В.

Интегратор проекта

Синянский С.И.

Разработка SCADA системы

Шергин В.С.

Расчет и выбор приводов

Драбек С.В.

Программирование контроллерных узлов

Рябуха А.И.

Принимали участие:

Мартынюк В.В.

Гуныко Д.В.

Комаринский С.

Маметьев Ю.М.

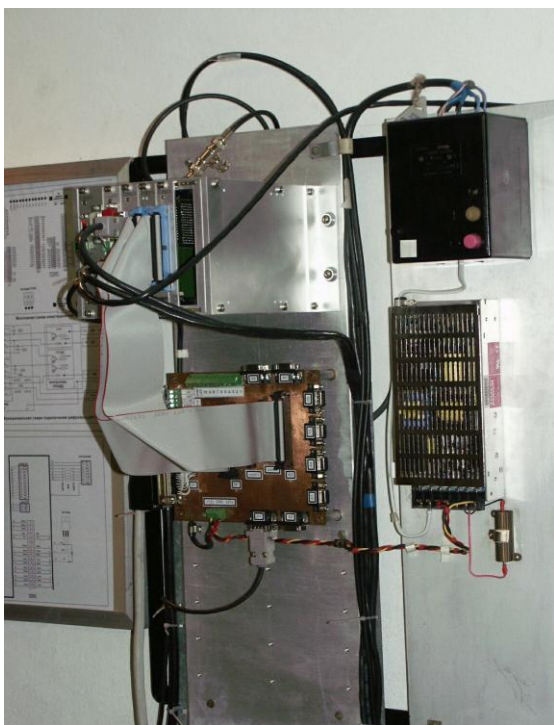
Притыченко А.М.

Приложение

Функции узлов

Далее приведены изображения контроллерных щитов и перечень основных функциональных задач для каждого узла.

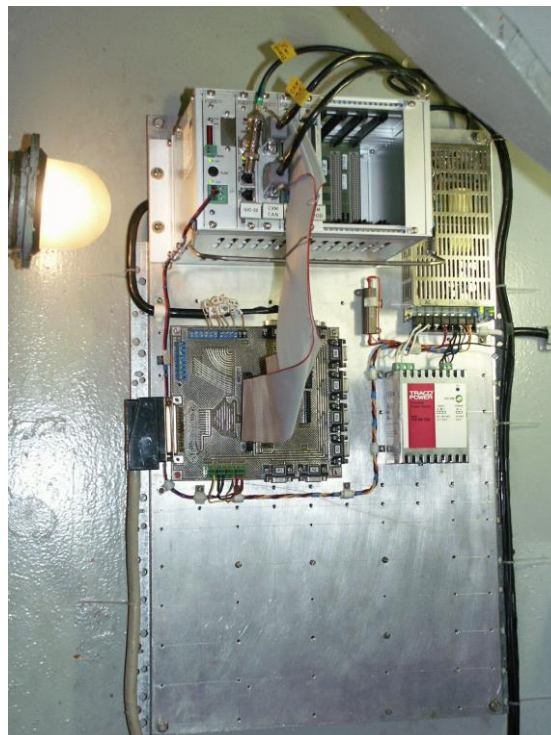
Узел в приводе “А” (PEP-“А”)



Функции сбора и управления:

5. Опрос координатных датчиков азимутальной оси телескопа и концевых выключателей (цикл 12Гц);
6. АЦП1- датчик колебаний подвески главного червяка (цикл 10Гц);
7. АЦП2
8. АЦП3 датчики толщины масляной пленки на гидроопорах “А”;
9. АЦП4 (цикл 10Гц)
10. АЦП5 давление масла “А” (цикл 1Гц);
11. АЦП6 давление масла “Z” (цикл 1Гц);
12. Трансляция через CAN данных на RS-485 для диагностики и настройки частотных инверторов маслостанции.

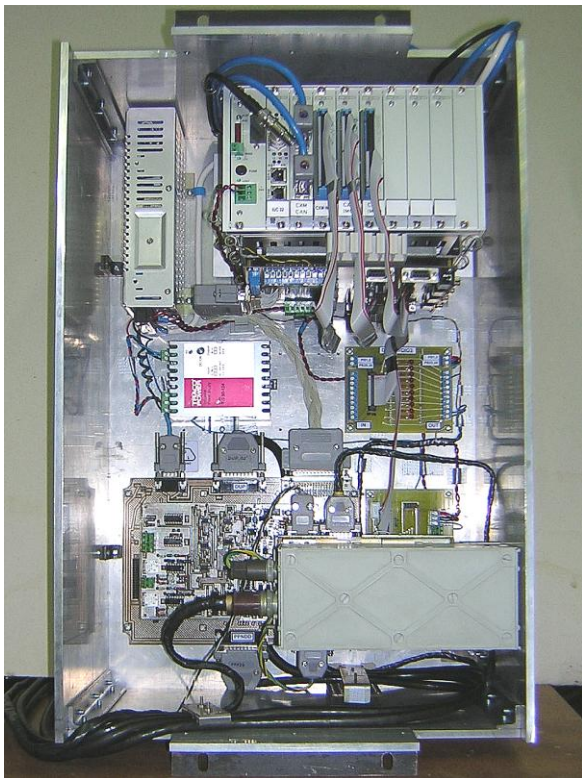
Узел в приводе “Z” (PEP-“Z”)



Функции сбора и управления:

13. Опрос координатных датчиков зенитной оси телескопа и концевых выключателей (цикл 12Гц);
14. АЦП1- датчик положения балансировки (цикл 5Гц);
15. АЦП2 – датчик n1 масляной пленки на гидроопорах “Z”(цикл 10Гц);
16. АЦП3– датчик n2 масляной пленки на гидроопорах “Z”(цикл 10Гц);
17. Опрос температуры главного зеркала, 24 точки. Сбор через RS-485 с 3-х ТРМ-38. (цикл 100с.);
18. Трансляция трафика купольного сегмента CAN-шины через RS-232 и радиомодем “Спектр 433”.

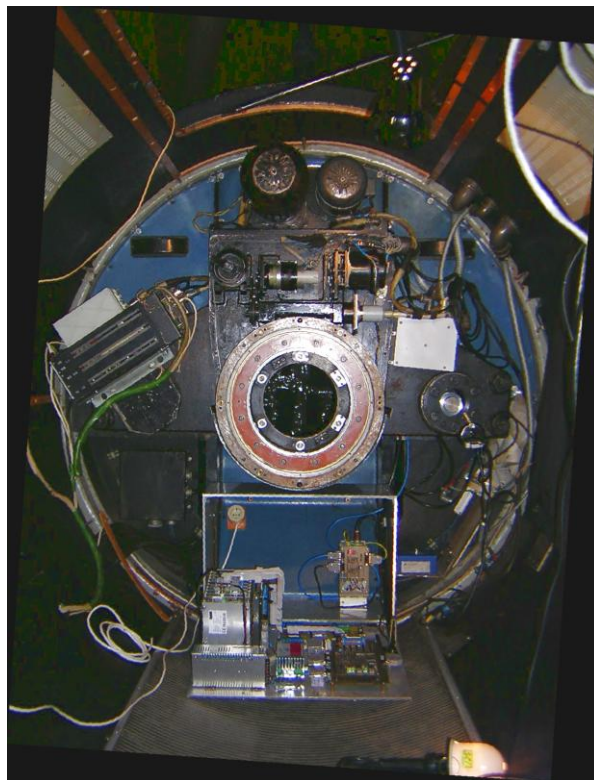
Узел в стакане первичного фокуса
(PEP-“PF”)



Функции сбора и управления:

1. Опрос координатных датчиков поворотного стола фокуса и концевых выключателей (цикл 5Гц);
2. Управление реверсивным приводом стола (асинхронный режим приема данных, по рассогласованию)
3. Опрос датчика фокуса (цикл 5Гц);
4. Опрос датчика положения балансировки (цикл 5Гц).

Размещение бокса (PEP-“PF”) в
стакане первичного фокуса

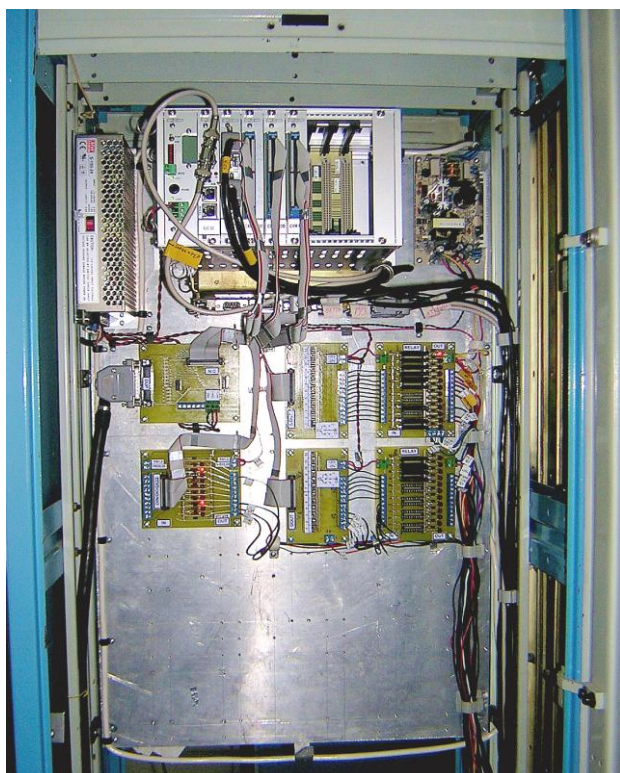


(Вид в процессе монтажа)

Ограниченное пространство кабины, требовало усиленной конструкции контроллерного бокса, допускающей становиться на него ногами, в случае проведения работ в вертикальном положении трубы телескопа.

Компоненты узла смонтированы на откидной крышке бокса, для удобства обслуживания. В штатном положении крышка закрыта, защищая узел от случайных механических воздействий.

Узел релейно – коммутационного автомата (PEP-“RCA”)

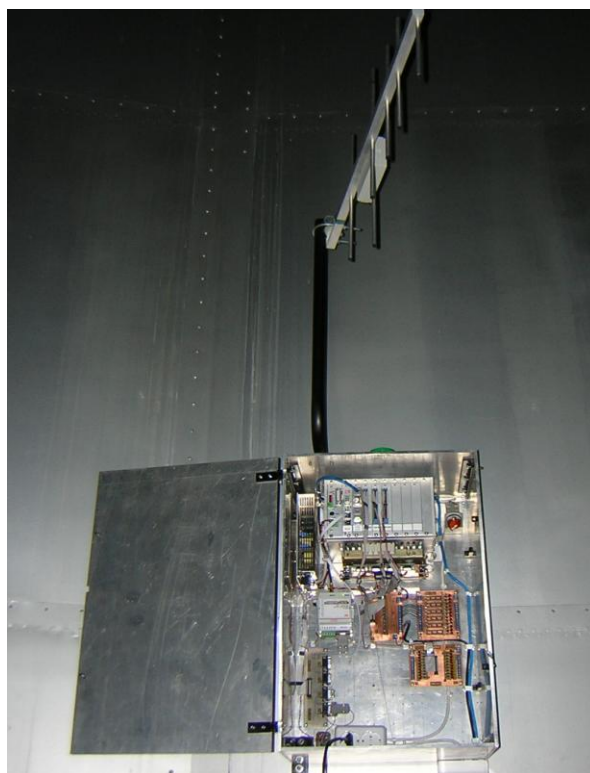


Контроллерный узел Релейно – Коммутационного Автомата (РКА) предназначен для замещения релейной схемы образующей систему взаимных блокировок и защиты телескопа от аварийных ситуаций. . В настоящее время реализована смешанная схема, где контроллерный узел обеспечивает передачу в РКА базовых сигналов управления и контроль необходимых состояний релейной схемы. Основная часть системы блокировок, построенная на релейной логике, используется в исходном виде. Последующими планами предусматривается перевод релейной логики на программно-алгоритмический уровень.

Функции сбора и управления:

1. Опрос координатного датчика положения купола (цикл 5Гц);
2. АЦП1- датчик скорости ветра (цикл 5Гц);
3. АЦП2 – датчик наружной температуры воздуха;
4. АЦП3– датчик температуры подкупольного пространства (цикл 1Гц)
5. АЦП4– Опрос температуры главного зеркала, (цикл 10с.);
6. Ввод/вывод сигналов управления релейной логикой.

Узел управления куполом (PEP-“DOME”)



Функции сбора и управления:

1. Трансляция трафика купольного сегмента CAN-шины через RS-232 и радиомодем “Спектр 433”
Управление по CAN-шине 10-ю частотными инверторами приводов купола.
1. Управление приводом забрала (в проекте)
2. Управление приводом шторы (в проекте)
3. Сбор метео -параметров вдоль забральной щели.

Рабочее место оператора

