

Устройство синхронизации астрономического телескопа от приемника GPS

В статье описывается конкретный пример реализации системы синхронизации астрономического телескопа от приемника GPS. Приводится структурная схема, описывается реализация такой системы и принцип работы, рассматриваются достоинства и недостатки полученной схемы. Статья может представлять интерес для широкого круга инженеров, специалистов по системам управления и астрономов.

В последние годы широкое распространение и популярность приобретают GPS устройства. Системы навигации и синхронизации на основе GPS очень эффективны и прекрасно зарекомендовали себя во многих областях науки и техники. Одной из наук, где востребованы приемники GPS, является астрономия. Проведение астрономических наблюдений с помощью больших оптических телескопов требует точной синхронизации работы систем управления и ведения телескопа, а также информации о его положении и текущем времени. Особая точность требуется при исследовании неярких объектов малых звездных величин на длительных экспозициях и в узком поле зрения телескопа.

Раньше для определения точного времени выполнялась сложная процедура сверки. Для этого применялись дорогостоящие и одновременно громоздкие системы на базе рубидиевого и цезиевого стандартов системы единого времени.

В настоящее время с появлением GPS и аналогичной отечественной системы GLONASS процедура определения точного времени значительно упростилась. Малогабаритный приемник GPS принимает сигналы от нескольких спутников и на основе принятых сигналов процессор приемника рассчитывает точное текущее время UTC (Universal Time Code) и координаты. После преобразования UTC в звездное время, полученные значения можно использовать для организации наблюдений и управления телескопом.

Одним из действующих российских телескопов является 1,5-метровый астрономический зеркальный телескоп АЗТ-22, установленный в Турции в 60 км от г. Анталия (фото 1). Великолепные климатические условия, отличные оптические характеристики делают телескоп пригодным для проведения качественных астрономических наблюдений и получения уникальных данных. В статье приведен пример разработки и реализации системы синхронизации данного телескопа от приемника GPS.

Структурная схема устройства синхронизации

Главная цель разработки — получение точного времени с точностью до единиц микросекунд, а также формирование набора синхронизованных с UTC высокостабильных частот 50,1393 Гц и

10 Гц для системы управления телескопом. Стабильная частота 50,1393 Гц затем используется в системе часового ведения. Импульсы частотой 10 Гц используются для генерации аппаратных прерываний в управляющем компьютере. Во время этих прерываний осуществляется опрос датчиков состояния (положения) и формируются необходимые управляющие воздействия на механизмы и привода телескопа.

Выбор приемника GPS

“Сердцем” устройства синхронизации являются часы точного времени с приемником GPS. Именно по этим часам, постоянно синхронизирующимся от GPS, управляются все системы телескопа и обеспечиваются заданные точности движения и измерений.

Авторами статьи был проведен анализ выпускаемых приемников GPS, удовлетворяющих ряду основных требований:

- 1) небольшая стоимость;
- 2) наличие выходов стабильной синхрочастоты, либо синхроимпульсов, привязанных к времени UTC;
- 3) работа совместно с компьютером и управление от него.

Кроме того, приемник должен быть легко встраиваемым внутрь системы.

Выбор был остановлен на приемниках фирмы Trimble Navigation Limited (<http://www.trimble.com>) — одной из известных фирм-изготовителей приемников GPS, предлагаемых московской фирмой “АГП НавГеоКом” (<http://www.agp.ru>).

В качестве приемника GPS была выбрана недорогая модель Lassen SK II GPS [1], которая максимально удовлетворяла поставленным требованиям.

Особенностями приемника Lassen SK II GPS являются:

- наличие выхода высокостабильного сигнала 1PPS (1 Pulse Per Second — 1 импульс в секунду) частотой 1 Гц, синхронизированного со временем UTC с точностью не хуже ± 100 нс;
- наличие двух независимых последовательных асинхронных интерфейсов, имеющих КМОП/ТТЛ уровни обменных сигналов и поддерживающих распространенные протоколы TSIP, TAIP или NMEA;
- питание от однополярного источника напряжением +5 В при потреблении всего 150 мА.

- приемник является встраиваемым и имеет небольшие габариты 81х31 мм.

Фирма-изготовитель предлагает несколько разных модификаций антенн как стационарных, так и мобильных. Размеры выбранной авторами стационарной антенны “Bullet II” невелики и составляют 78 мм в диаметре и 75 мм в высоту. Антенна является активной и подключается к приемнику при помощи специального коаксиального кабеля длиной до 23 м, входящего в комплект поставки.

Часы точного времени и интерфейс с приемником GPS

В качестве часов точного времени и одновременно интерфейса приемника GPS с компьютером системы управления телескопа использовалась готовая плата программируемого контроллера



Фото 1

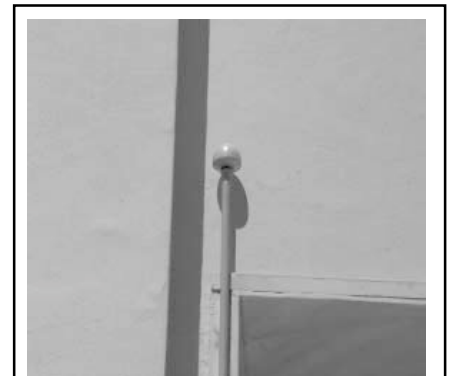


Фото 2

TVG3, разработанная в Лаборатории электроники Института космических исследований РАН (<http://lex.iki.rssi.ru>). Задача состояла в том, чтобы одновременно с получением кода времени по последовательному интерфейсу принять сигнал 1PPS и сформировать от него набор частот синхронных со временем UTC и необходимых для управления телескопом. Используемая плата контроллера TVG3 (<http://lex.iki.rssi.ru/projects/tvg3>) построена на основе ПЛИС EP1K30AQC208-3 [2] фирмы Altera

(<http://www.altera.com>) и содержит необходимые интерфейсы с ISA-шиной и RS-232, а также несколько ТТЛ/КМОП входов/выходов. Интерфейс контроллера RS-232 использовался для подключения внешнего потребителя информации или терминала приемника GPS.

Приемник был установлен внутри корпуса персонального компьютера. Напряжение питания и все информационные сигналы поступали в него через гибкий шлейф от платы TVG3. Для хранения необходимых установок при отключенном питании компьютера к нему была также подключена внешняя литиевая батарейка.

Антенна приемника GPS была установлена на внешней стене здания обсерватории и подключена к приемнику через соединительный кабель (фото 2).

Синхронизация работы телескопа от сигналов приемника GPS

Для управления телескопом требовалось вырабатывать импульсы с периодом 100 мс для процедуры опроса датчиков положения, а также вырабатывать сигналы частотой 50,1393 Гц для управления приводом часового ведения телескопа. Стабильность и точность установки указанных частот должны быть не хуже $5 \cdot 10^{-6}$. Соответствующие характеристики внутреннего генератора платы TVG3 составляли всего $1 \cdot 10^{-4}$ и не удовлетворяли указанным требованиям.

Для получения с высокой точностью интервалов времени длительностью 100 мс было предложено с помощью высокостабильных импульсов частотой 1 Гц от приемника GPS измерять мгновенную частоту внутреннего генератора и использовать полученные измерения при формировании необходимых сигналов. Структурная схема формирования 100 мс интервалов приведена на рис. 1.

Импульсы частотой 1 МГц от внутреннего (нестабильного) генератора платы контроллера поступают сначала на предварительный делитель DIV (с коэффициентом деления $K_{div} = 10$), а затем на счетчик СТ. Один раз в секунду по сигналу 1PPS от GPS состояние счетчика СТ переписывается в регистр RG.

После перезаписи счетчик СТ сразу сбрасывается в "0", а содержимое регистра RG как раз и отражает мгновенное значение частоты внутреннего генератора, которое вычисляется по формуле

$$K_{RG} = F_{генер} / K_{div}$$

где $F_{генер}$ — текущая частота генератора, K_{div} — коэффициент деления предварительного делителя.

В идеальном случае при указанных параметрах регистр RG должен содержать значение, равное 100000. Однако при нестабильности частоты внутреннего генератора $1 \cdot 10^{-4}$ регистр будет содержать код в пределах от 99990 до 100010. Под влиянием различных дестабилизирующих факторов (температуры окружающей среды, напряжения питания генератора, старения кварца) частота генератора $F_{генер}$ изменяется, и, следовательно, код в регистре RG будет меняться даже в больших пределах.

Учитывая тот факт, что частота генератора хоть и нестабильна, но не может изменяться скачком, значение мгновенной частоты в регистре RG можно использовать для выработки 100 мс интервалов, по крайней мере, в течение следующей секунды. Значение кода в регистре RG сравнивается с содержимым счетчика CTF, на тактовый вход которого подается частота 1 МГц от внутреннего генератора. Сигнал с выхода компаратора (схемы сравнения) поступает на D-триггер. При равенстве содержимого счетчика CTF и регистра RG триггер формирует короткий импульс, указывающий, что закончился очередной интервал 100 мс. Одновременно импульс сбрасывает счетчик СТ в "0" и начинается отсчет следующего интервала 100 мс. Именно этот импульс и используется для выработки интервалов с периодом 100 мс. Под действием дестабилизирующих факторов значение в регистре RG будет изменяться. Поэтому счетчик CTF будет считать то до больших, то меньших значений, однако всегда с высокой точностью будет сформирован интервал 100 мс.

Применение описанной схемы имеет ряд достоинств. Например, в ней используется простой кварцевый генератор, те-

кущее значение частоты которого определяется с помощью высокостабильных импульсов от приемника GPS. Следовательно, не требуется применение дополнительного высокостабильного генератора, что удешевляет стоимость устройства. Кроме того, время готовности устройства сведено практически к нескольким секундам, и не требуется длительного прогрева, что характерно для термостатированных генераторов. Указанная схема не подвержена влиянию дестабилизирующих факторов (температуры, напряжения питания, старения кварца).

Работа устройства синхронизации при недостаточном числе спутников

В случае недостаточного числа наблюдаемых спутников (менее трех) приемник Lassen SK II GPS не может определить с высокой точностью время и, следовательно, не вырабатывает высокостабильные импульсы 1PPS. Поэтому интервалы времени 100 мс могут быть сформированы лишь с той точностью, которая обеспечивается внутренним генератором. Указанный недостаток достаточно просто можно скорректировать аппаратно, что и было реализовано в контроллере TVG3. В случае пропадания импульсов 1PPS, мгновенное значение частоты внутреннего генератора, хранимое в регистре RG, используется для формирования 100 мс интервалов вплоть до появления импульсов 1PPS.

Управление приводом часового ведения телескопа

Другой важной задачей устройства синхронизации является управление приводом часового ведения, позволяющим отслеживать вращение Земли и удерживать исследуемый объект в поле зрения телескопа. Подача на него импульсов нестабильной или неточной частоты приведет, соответственно, к "размазыванию" изображения или к "уходу" объекта из поля зрения телескопа.

Формирователь импульсов привода часового ведения, реализованный в описываемом устройстве, представляет собой программируемый делитель частоты. Его структурная схема приведена на рис. 2.

Частота 24 МГц от встроенного (нестабильного) генератора подается на вход программируемого делителя частоты. Полученная после деления частота 100,2786 Гц подается на T-триггер для формирования меандра частотой 50,1393 Гц, который в свою очередь поступает на усилитель сигналов привода часового ведения. В идеальном случае, когда частота точно равна 24 МГц, коэффициент деления составляет $24 \text{ МГц} / 100,2786 \text{ Гц} = 239333$. Это число определяет разрядность делителя, которая составляет 18 двоичных разрядов. Как было сказано ранее, под действием дестабилизирующих факторов частота внутреннего генератора меняется. По-

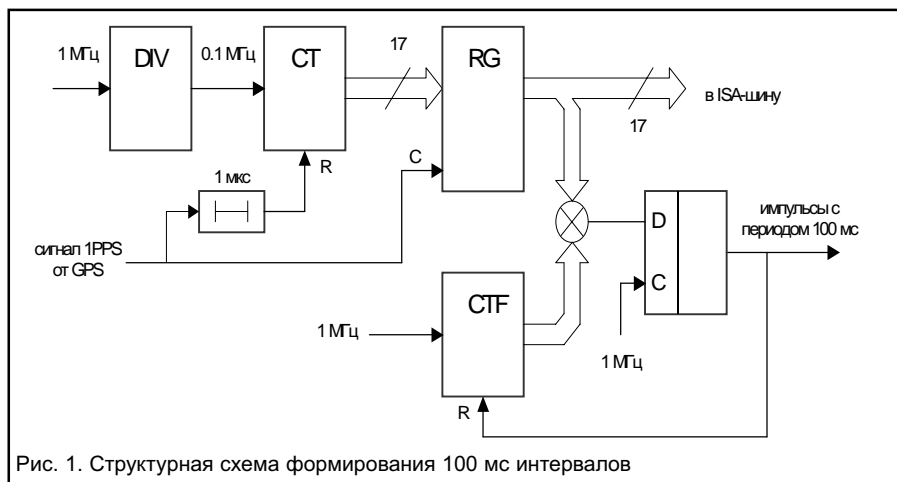


Рис. 1. Структурная схема формирования 100 мс интервалов

этому, используя мгновенное значение частоты, компьютер каждую секунду вычисляет новый коэффициент деления и записывает его в программируемый делитель. Наличие 18 разрядов в программируемом делителе позволяет корректировать частоту с точностью $1/239333 = 4,2 \cdot 10^{-6}$. Следует отметить, что компьютер может записывать (корректировать) только младшие 14 разрядов делителя из 18, то есть изменять частоту только в пределах примерно $\pm 2,5\%$. Это сделано для того, чтобы исключить запись ошибочных значений в делитель, которые могут привести к отказу цепей привода.

частоты кварца в течение первых 20–30 мин после включения, что объясняется прогревом электроники. Однако применение программируемого делителя частоты и синхронизации по GPS позволило скомпенсировать дрейф частоты задающего генератора и, таким образом, решить поставленную задачу по синхронизации работы телескопа.

Заключение

Описанная в статье система синхронизации телескопа реализована и испытана в обсерватории TUBITAK (Турция) на высоте около 2500 м над уровнем моря в рамках совместного российско-

громоздкого и дорогого оборудования. Некоторые снимки, полученные на этом телескопе можно найти в интернете на сайте: <http://hea.iki.rssi.ru/AZT22/RUS/index.html>. Угловое разрешение на лучших снимках достигает 0,7 угл. сек.

Реализация устройства синхронизации и интерфейса с GPS потребовала около 1300 логических элементов ПЛИС контроллера TVG3.

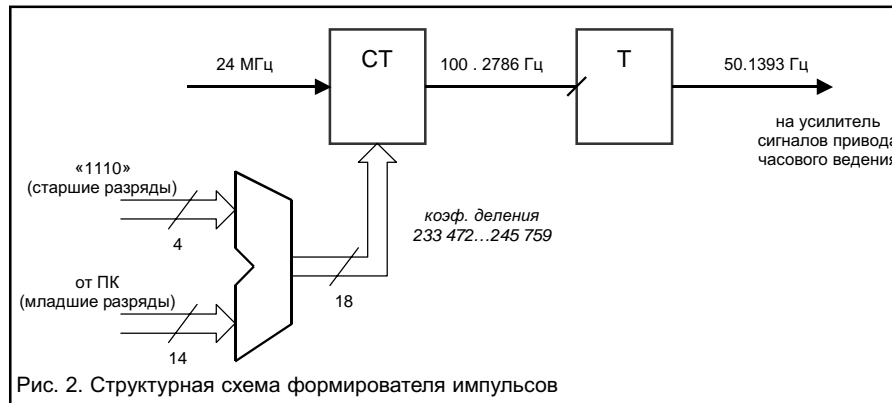
Пробная эксплуатация GPS приемника Lassen SK II с антенной Bullet II в составе системы управления телескопом подтвердила их высокие характеристики. Почти всегда антенна принимала сигналы нескольких (от 2 до 6) спутников, несмотря на то, что она была установлена на боковой внешней стене здания телескопа, и часть спутников затенялась самим зданием.

В заключение авторы выражают благодарность сотрудникам отдела Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН и обсерватории Казанского Государственного Университета за помощь в создании данного устройства.

Илья Чулков,
ilya@hea.iki.rssi.ru
Михаил Бунтов,
orion@hea.iki.rssi.ru

Литература

1. Lassen SK II GPS. System Designer Reference Manual. Trimble Navigation Limited. November 1999.
2. "ACEX 1K Programmable Logic Family Data Sheet. Preliminary Information. ALTERA Corporation. 03/2001".



В процессе работы также было проведено измерение стабильности частоты внутреннего кварцевого генератора. Было отмечено плавное изменение

турецкого проекта. Она позволила существенно улучшить точность наведения на объект и стабильность часового ведения инструмента без использования