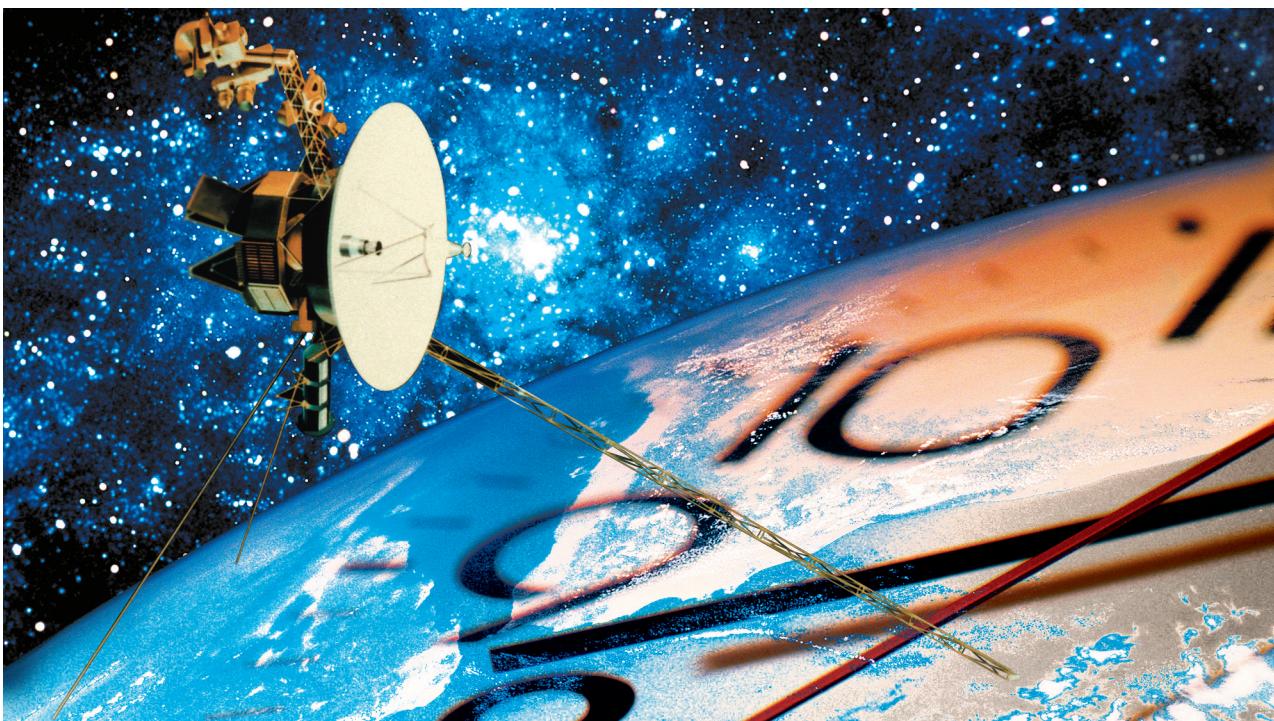


ТЕХНОЛОГИИ И БИЗНЕС

сети синхронизации



Спутниковые системы и сети синхронизации

Часть 1. Приемники GPS

Каким образом сигналы спутниковых радионавигационных систем возможно использовать в процессе эксплуатации сетей электросвязи?

Основная задача спутниковых радионавигационных систем (СРНС) – определять в глобальных земных масштабах трехмерные координаты пользователей и их скорость, если эти объекты находятся в движении. Еще одной задачей является точная координация времени в масштабах планеты, то есть определение так называемого всемирного скординированного времени (Universal Time Coordinated, UTC).

Среди примеров реализованных СРНС – американская GPS и российская (бывшая советская) ГЛОНАСС, а также проектируемая в ЕС аналогичная система под названием Galileo, которую планируется запустить в 2008 году (см. статью Виктории Басмановой «По дороге к Galileo», с. 26). Похожие системы или их сегменты разрабатывают Индия, Китай и некоторые другие страны. Активно обсуждается взаимодействие разных СРНС

между собой, однако этот вопрос пока нельзя считать окончательно решенным. На сегодняшний день обе функционирующие СРНС предоставляют международному сообществу возможность бесплатного приема своих сигналов, хотя на практике рядовой потребитель чаще использует сигналы GPS в силу несколько лучшего покрытия земной поверхности и, главное, большей доступности (дешевизне) приемников GPS. Простые приемники GPS уже достаточно широко используются потребителями даже в Украине для определения текущего местоположения, например, на фоне географической карты данной местности, что очень удобно для

ориентировки на местности. Поэтому в дальнейшем мы будем говорить о структуре и использовании сигналов GPS, подразумевая при этом принципиальную возможность аналогичного использования сигналов как ГЛОНАСС, так и других СРНС, в зависимости от их реальных характеристик, а также нескольких спутниковых радионавигационных систем вместе взятых.

Общие принципы функционирования и структура GPS

На рисунке справа показана структурная схема системы GPS. Она состоит из наземного и космического сегментов. Иногда выделяют и третий сегмент — пользовательский.

Наземный, или управляющий, сегмент GPS предназначен для управления спутниками, а также введения поправок с целью поддержания единого времени и единой опорной частоты в системе. Сегмент состоит из ряда станций контроля и управления, расположенных по возможности равномерно по всей территории Земли, с центром управления в США (вся система GPS контролируется только правительством США).

Космический сегмент GPS состоит из 24 спутников, вращающихся в шести орбитальных плоскостях на высоте около 20 тыс. км. Они обеспечивают покрытие практически любой точки земной поверхности в любое время суток. Установленные на спутниках атомные стандарты частоты 10,23 МГц снабжают систему высокостабильными опорными сигналами (время от времени корректируемыми поправками наземного сегмента). Передающая аппаратура спутников производит передачу навигационных и служебных данных на двух несущих частотах L1 и L2, соответственно равных 1575,42 и 1227,60 МГц. Данные передаются в виде нескольких двоичных кодов, модулирующих фазу сигналов несущих частот. При этом только сигнал частоты L1 модулируется индивидуальным для каждого спутника кодом, имеющим обозначение C/A (Coarse/Acquisition — получение данных с пониженной точностью, хотя искусственное понижение точности кода

Обобщенная структурная схема GPS



Радионавигационная система состоит из спутников, комплексов наблюдения, управления и контроля

C/A в последнее время в GPS уже не осуществляется). Сигналы с кодом C/A — единственные доступные для общегражданского декодирования и использования. Другой применяемый код (так называемый P-код) модулирует сигналы обеих несущих, но он не предназначен для общегражданского применения и рядовым пользователям его декодирование недоступно, поэтому мы его рассматривать не будем.

Пользовательский сегмент оснащен приемниками сигнала GPS (промышленность производит сотни, если не тысячи разнообразных моделей, оптимизированных для решения тех или иных задач). Более подробно особенности различных групп приемников будут рассмотрены ниже, отметим только, что все приемники, в зависимости от количества одновременно отслеживаемых спутников, изначально делились на две основные группы: многоканальные (или параллельные) и одноканальные (или последователь-

ные). В настоящее время практически все выпускаемые промышленностью приемники являются многоканальными, то есть одновременно способны отслеживать много (как правило, от 8 до 24) спутников, что обеспечивает отсутствие перерыва в связи, характерного для

29 вересня — 1 жовтня бізнес-форум

ІТ для управління підприємством: нові рішення

- ◎ Конференція "Управління ресурсами підприємства"
ERP-системи, системи документообігу та управління даними
- ◎ Конференція "Сервери та системи зберігання даних"
- ◎ Конференція "Мережі та телекомуникації"
Корпоративні мережеві технології, корпоративні телекомуникаційні технології
- ◎ Конференція "Новинки компаній"

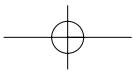
CIO У рамках Бізнес-форуму: **Запрошуємо до участі!**
Осіння зустріч Організатори:
Співтовариства "Супремум"
ІТ-директорів України. (044) 462-4808, 462-4710,
Медіа-партнер info@supremum.com.ua
ОБОЗРЕННЯ "Европіндекс"
(044) 461-9301, skazochkin@eindex.kiev.ua
www.forum.euroindex.ua

Співорганізатор:



Інформаційні партнери:





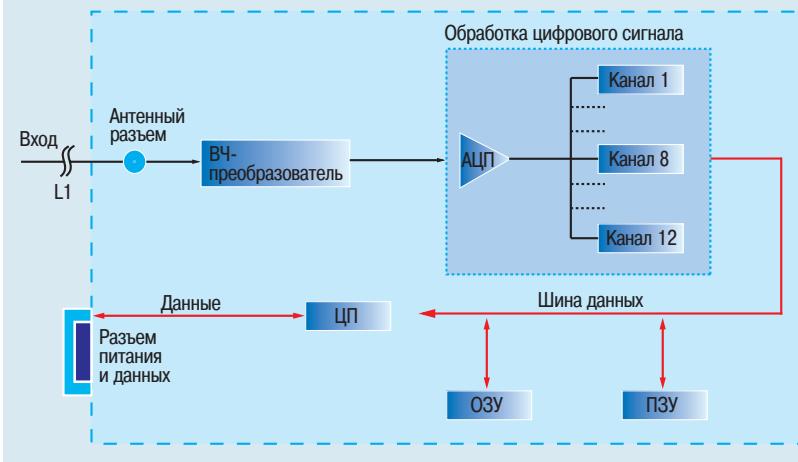
ТЕХНОЛОГИИ И БИЗНЕС

последовательных приемников при переходе от одного спутника к другому, а также дает ряд иных важных преимуществ.

В связи с вышеизложенным, в настоящей статье мы ограничиваем рассмотрение приемников GPS группой одночастотных (несущая L1 с кодом C/A) многоканальных приемников (типичное количество каналов для современных приемников равно 12, несколько лет назад эта цифра равнялась 8).

Уже упоминалось, что определение географических координат — не единственная, хотя и наиболее широко распространенная в геодезии и картографии, функция приемников сигналов спутниковых радионавигационных систем. В США, а в последние годы и в мировом масштабе, навигационные системы на основе GPS активно используются для решения задачи точной посадки авиаотранспорта в условиях отсутствия видимости и т. п. Несомненно, комплексное внедрение таких систем на основе СРНС предоставит транспортным средствам невиданные до сих пор возможности. Однако подробное рассмотрение данных приложений GPS выходит за рамки настоящей статьи; описанию геодезического и навигационного применений СРНС посвящены специальные книги (см., например, Бабак В.П. Спутникова радіонавігація, Київ, 2004). Мы же остановимся на специфическом, не столь широко известном, использовании возможностей GPS как источника эталонного сигнала точных частоты и времени, применяемых для решения задачи создания и эксплуатации сетей синхронизации цифровых сетей электросвязи.

Функциональная схема типичного приемного модуля GPS



Модуль принимает радиосигналы и выдает секундную метку

Выше уже упоминалось о том, что спутники GPS оборудованы высокостабильными атомными стандартами частоты. В большинстве случаев — это цезиевые стандарты частоты с относительной долговременной нестабильностью порядка 1×10^{-12} или лучше. Дело в том, что достаточно точное определение координат и скорости в любой радионавигационной системе невозможно без измерения отрезков времени с высокой точностью (порядка наносекунд), а последнее требует применения эталонов частоты и времени. Время системы GPS с высокой точностью связано с UTC, отличаясь при этом по абсолютному значению на несколько секунд (исторически сложившаяся ситуация). При точно известном местоположении приемника GPS ему достаточно отслеживать один спутник на одной несущей частоте, чтобы получить от спутника время его бортового стан-

дарта частоты. Значения времени декодируются приемником и могут быть воспроизведены с периодом повторения кода C/A — 1 мс. Далее путем дополнительной математической обработки получают секундные метки с точностью не хуже 100 нс, а путем статистического усреднения достигают суточной нестабильности порядка нескольких пикосекунд.

Таким образом, пользователь недорогого устройства — приемника GPS — способен получать эталонный сигнал со стабильностью частоты, присущей цезиевому стандарту — дорогому, почти уникальному устройству. На этой возможности основаны технические решения, нашедшие применение во всех странах, строящих и эксплуатирующих цифровые сети электросвязи, в том числе и в Украине.

Сравнительные характеристики некоторых типов модулей приемников GPS

Тип GPS-модуля	Oncore M12	A12	A1025	Lassen	Jupiter 11
Производитель	Motorola	Thales	Taco	Trimble	Navman
Количество каналов	12	12	12	8	12
Точность позиционирования (без ограничений C/A), м	25	9	15	9	25
Точность секундной метки, нс	20	н/д	50	95	25
Продолжительность сбора данных от спутника (cold start), с	200	150	60	170	120
Напряжение питания, В	+5	+3 или +5	+ 3 или +5	+3	+5
Потребляемая мощность, мВт	185	250	420	100	950
Габариты (ДxШxВ), мм	60x40x10	61x40x13	30x30x7	26x26x6	83x51x16
Тип антенного разъема	MMCX	н/д	MMCX	H.FL-R-SMT	OSX
Интерфейс данных	TTL (0-3V)	TTL	RS-232	TTL/CMOS	TTL

Устройство и функционирование модулей приемников GPS

Прежде всего необходимо иметь в виду, что приемниками GPS могут считаться как собственно приемные модули, принимающие и декодирующие сигналы GPS, так и законченные изделия — стандарты частоты или генераторы непрерывных колебаний (синусоидальной либо специальной формы) с частотой, «привязанной» к частоте GPS. Последние содержат в своем составе приемные модули, рассматриваемые ниже, а также дополнительные устройства на основе кварцевых или рубидиевых генераторов. Такие стандарты частоты совмещают в себе преимущества различных автономных стандартов с относительно невысокой стоимостью. Например, рубидиевый стандарт частоты СЧР-102, производимый в Украине компанией «Информационные системные технологии», обеспечивает как кратковременную нестабильность рубидиевого стандарта (3×10^{-12} за 1 с), так и аналогичную долговременную (суточную) нестабильность как раз за счет использования встроенного модуля приемника GPS, корректирующего частоту рубидиевого генератора. Подобные устройства с похожими характеристиками производятся во многих странах как крупными, так и небольшими предприятиями, начиная от американской Trimble и французской TEMEX и заканчивая такими компаниями, как бельгийская Gillam FEi, шведская Pendulum или российская «Время-Ч».

Рассмотрим вначале функциональную схему приемного модуля GPS, частично позаимствованную из руководства для пользователей продукции компании Motorola (Motorola GPS Products. Oncore User's Guide. Revision 5.0 08/30/2002).

Типичный приемный модуль GPS сегодня предназначен для отслеживания одновременно 8 или 12 спутников, напряжение его питания составляет +3 или +5 В при величине тока порядка сотен миллиампер. Конструктивно он представляет собой печатную плату размером менее 10x8 см,

содержащую входной разъем для подключения антенны GPS, выходной разъем для вывода секундных меток и многоконтактный разъем последовательного интерфейса, питания и аварийной сигнализации.

Антенны GPS производятся промышленностью в большом количестве, часто независимо от модулей приемников. Обычно это низкопрофильная микрополосковая антенна с круговой диаграммой направленности, собранная в одном герметичном корпусе с узкополосным фильтром и предварительным малошумящим усилителем на сверхвысокочастотных полевых транзисторах. Коэффициент усиления такого предварительного усилителя может составлять от 20 до 50 дБ в широком диапазоне рабочих температур (от -40 до +85 °C). Отфильтрованный и усиленный сигнал поступает на вход собственно приемного модуля GPS.

Входной разъем приемного модуля GPS является обычно миниатюрным 50-омным коаксиальным разъемом (типов OSX, MCX и т. п.). Питание антенны осуществляется, как правило, по центральному проводу этого же коаксиального соединения, для чего входные цепи приемного модуля содержат соответствующий развязывающий фильтр и зачастую датчик тока, потребляемого антенной, для контроля наличия электрического контакта и исправности антенного усилителя. Входной высокочастотный сигнал (как уже упоминалось, для рассматриваемых нами приемников — с частотой несущей L1 = 1575,42 МГц) в схеме конвертора преобразовывается в сигнал промежуточной частоты, а затем в схеме цифровой обработки оцифровывается, разделяется покадально и проходит еще некоторые процедуры. Цифровые данные затем поступают в схему микропроцессора для декодирования и дальнейшей математической обработки, в результате которой выделяются данные о координатах, скорости (но не для всех типов моделей), времени GPS (по выбору также времени UTC) и т. п. Микропроцессор также осуществляет общее управление модулем, включая последовательный интерфейс (иногда — два интерфей-



РУХ ПІД ВАШИМ КЕРУВАННЯМ



WWW.MOLEXPN.COM.UA

- Комплексні рішення для іnstalacijї структурованої кабельної системи
- Висока гнучкість і простота використання
- Відмінний індустріальний дизайн

MTI рекомендует коммутационное оборудование
MOLEX PREMISE NETWORKS
для подключения АТС
Panasonic



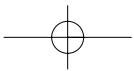
Офіційний дистрибутор продукції
MOLEX PREMISE NETWORKS
в Україні - компанія **MTI**
Тел.: (044) 458-38-73, 241-73-34
E-mail: oko@mti.com.ua

**Системна і компонентна
гарантія - 25 років**

Дилери MTI:

Київ, Енран Телеком - (044) 244 9355;
IV Trading - (044) 490 9238;
Ес енд Ті Софт-Тронік - (044) 238 6388;
K-Trade - (044) 568 5005;
Direct Line - (044) 461 8885;
Л. Ком - (044) 490 2120;
Донецьк, АМІ - (062) 385 4888;
Техніка - (062) 385 8253;
Харків, Спецізавтоматика - (057) 712 1717;
МКС - (0572) 141 014;
Запоріжжя, РОМА - (0612) 130 757;
Дніпропетровськ, Дніпротехцентр - (056) 770 3413.

Молекс Примайз Нетворкс, Дівіжин оф Молекс



Частота генератора контролируется с помощью сигналов спутников

са), на который выводятся выходные данные модуля. Дополнительно модуль содержит микросхемы памяти и другие элементы, необходимые для работы микропроцессора и хранения программного обеспечения и данных.

Для приемников GPS, применяющихся в геодезии и навигации, необходимыми являются функции учета различных дифференциальных поправок, позволяю-

Стандарты частоты на основе GPS

Высокая точность меток времени в GPS достигается только на длительных временных интервалах (несколько часов, сутки) путем статистической обработки сигналов спутниковых радионавигационных систем. Для того чтобы добиться аналогичного уровня стабильности частоты на протяжении короткого интервала времени (секунды), к приемнику GPS необходимо добавить генератор непрерывных колебаний,

В стандартах частоты на основе GPS для периодической корректировки внутреннего рубидиевого генератора используется известный механизм фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Упрощенно можно сказать, что схема ФАПЧ сравнивает положение во времени (фазу) выходного секундного импульса модуля приемника GPS с фазой такого же секундного импульса, полученного от деления до 1 Гц частоты рубидиевого генератора. Исходя из величины разности фаз импульсов, измеренной фазовым компаратором схемы ФАПЧ, управляющий микроконтроллер вырабатывает управляющий сигнал для подстройки частоты рубидиевого генератора, призванный уменьшить измеренную разность фаз вплоть до нуля. Этот процесс происходит каждый раз, когда в силу изменения частоты рубидиевого генератора (по причине старения или из-за изменения температуры окружающей среды) разность фаз снова станет заметна для фазового компаратора схемы ФАПЧ. Более подробно механизм фазовой автоподстройки частоты описан в литературе (см., например, Бренн С. Синхронизация цифровых сетей связи, Москва, 2003), там же приведен широкий перечень специализированных ссылок по данному вопросу. Таким образом, на выходе стандарта частоты обеспечивается сигнал с требуемой как кратковременной (за счет рубидиевого генератора), так и долговременной (за счет подстройки по сигналам GPS) нестабильностью частоты.

Стандарты частоты на основе различных управляемых генераторов, с некоторыми функциональными дополнениями, являются как раз тем оборудованием, которое необходимо для построения сетей синхронизации в цифровых сетях электросвязи, включая сети GSM, CDMA, передачи данных и др. В следующих статьях автор предполагает рассмотреть разновидности такого серийно выпускаемого оборудования. Также будут приведены результаты изменений характеристик их нестабильности во временной области, выполненные в лаборатории компании «Информационные системные технологии».

Игорь Шкляревский,
ish@ist.net.ua

Стандарты частоты с использованием GPS обеспечивают сигнал как с кратковременной, так и с долговременной нестабильностью

щих существенно повысить точность определения координат и скорости. Однако для применения в качестве источников опорных сигналов сетей синхронизации упомянутые поправки не используются, поэтому ограничимся кратким упоминанием об их существовании. Приемники, поддерживающие использование дифференциальных поправок, технически могут быть применены в оборудовании стандартов частоты для сетей синхронизации, однако в связи с их большей стоимостью на практике этого не происходит.

Производимые промышленностью приемники GPS имеют достаточно разнообразные характеристики, часть из них для некоторых типов модулей приведены в таблице на с. 56.

обеспечивающий такую стабильность. Это может быть, например, генератор на основе ячейки с парами рубидия, с возможностью подстройки рабочей частоты.

Однако долговременная стабильность рубидиевого генератора хуже, чем необходимо для обеспечения заданной нестабильности. Он имеет свойство медленно изменять номинал частоты генерируемого сигнала (свойство, называемое «старением» или «уходом» частоты). Следовательно, такой уход частоты необходимо периодически компенсировать подстройкой генератора, и подобная подстройка как раз возможна на основе сигналов GPS. Все вышесказанное еще более справедливо для кварцевого генератора.