

Программно определяемое радио как эталонный источник синхронизации

для спутниковых систем навигации

Благодаря возможностям синхронизации программно определяемые (конфигурируемые) радиостанции могут контролировать целостность спутников и наземных станций и обеспечивать функциональность GPS-трекинга, автономного вождения, автоматизации и финансовых рынков. Эта статья впервые была опубликована в журнале *Microwaves & RF* [1].

Саймон Ндитиру (Simon Nditiru)
Перевод: Владимир Рентюк

Введение

Программно определяемая радиосвязь (Software Defined Radio, SDR) — универсальная система радиосвязи, в которой для обработки оцифрованных сигналов используются реконфигурируемые программные компоненты. Парадигма SDR, благодаря функциональности и компонентам, реализованным в виде встроенной программной системы, предлагает высокую гибкость решения, облегчая модернизацию или обновление систем радиосвязи по приемлемой цене. Некоторые из этих компонентов содержат фильтры, усилители, декодеры и микшеры. Кроме того, SDR обеспечивает превосходную производительность, что позволяет использовать решения на ее основе в самом широком спектре промышленных (и не только) приложений.

Решение SDR обычно состоит из двух частей: внешнего аппаратного интерфейса радиостанции (фронтенд) и внутреннего цифрового программного интерфейса (бэкенд). В типичном SDR-приемнике радиоприемник фронтенд представляет собой РЧ-тюнер, который преобразует входящий радиочастотный сигнал в сигнал промежуточной частоты. Затем сигнал ПЧ подается в аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который трансформирует его уже в цифровой, пригодный для программной обработки сигнал. Затем оцифрованный сигнал направляется для обработки в программно-аппаратную часть — бэкенд, отвечающую за функционирование внутренней части.

В случае типичного SDR-передатчика его аппаратная часть состоит из РЧ-преобразователя и усилителя мощности. РЧ-преобразователь принимает аналоговый сигнал ПЧ от цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) и преобразует его в РЧ-сигнал, который перед подачей

в антенну усиливается усилителем мощности. В отличие от обычных систем радиосвязи, SDR может обрабатывать сигналы в широкой полосе пропускания. SDR с самой высокой на сегодня полосой пропускания могут управлять сигналами в полосе пропускания до 18 ГГц.

Внутренняя цифровая часть системы SDR выполнена на основе программируемой вентильной матрицы (field-programmable gate array, FPGA) со встроенными возможностями цифровой обработки сигналов. Блок цифровой обработки — а, как правило, это узел, выполненный на печатной плате, обрабатывающий оцифрованные сигналы, — состоит из различных реконфигурируемых компонентов, включая смесители, фильтры, модуляторы и демодуляторы. Он также предоставляет средства для реализации различных функций, необходимых для конкретных приложений, — начиная от сигналов запуска и формирования волновых форм сигналов для радара или оборудования для магнитно-резонансной томографии (МРТ), основанной на использовании явления ядерно-магнитного резонанса (ЯМР), и до реализации любого стандарта/протокола беспроводной связи. Причем все это выполнено непосредственно в самом чипе. Также FPGA дополняют операции, осуществляемые посредством цифрового сигнального процессора (digital signal processor, DSP). Они содержат такие вычислительные задачи, как преобразование с повышением частоты, преобразование с понижением частоты, модуляция, демодуляция и контроль ошибок.

Универсальность, реконфигурируемость, функциональная совместимость и превосходные характеристики системы SDR делают ее подходящим выбором для использования в самом широком спектре промышленных

приложений. Как уже было сказано, эти приложения включают такое критически важное оборудование и системы, как радары, испытательные и измерительные системы, мониторинг и запись спектра, оборудование МРТ/ЯМР, решения сетевой безопасности и системы GNSS. Примером высокопроизводительной SDR-платформы, подходящей для множества критически важных приложений, служит, например, платформа, разработанная компанией Per Vices [2] (рис. 1).

Глобальная навигационная спутниковая система

Глобальная навигационная спутниковая система (Global Navigation Satellite System, GNSS), имеющая всемирное покрытие, обслуживает приложения для временного и/или геопространственного позиционирования. Некоторые из полностью действующих на сегодня GNSS включают GPS — глобальную систему позиционирования (Global Positioning System), навигационную спутниковую систему BeiDou (BeiDou Navigation Satellite System, BDS), глобальную навигационную спутниковую систему ГЛОНАСС и Galileo. Во всех перечисленных GNSS для обеспечения точности времени и местоположения, необходимой для современных приложений, используются точные часы, а соответственно, им нужна и столь же точная синхронизация.

Спутники GNSS имеют встроенные атомные часы, в то время как наземные станции для обеспечения высокоточной синхронизации и позиционирования используют внутренние кварцевые генераторы SDR или внешние эталонные генераторы тактовой частоты. Превосходная производительность систем синхронизации SDR делает их популярным выбором для приложений синхронизации GNSS.

Как известно, большинство современных финансовых учреждений, систем радиолокационных станций и сетей передачи данных состоят из множества узлов, образующих распределенную сеть. Такие распределенные системы для того, чтобы гарантировать точность и синхронизацию всех транзакций, требуют точной гармонизации по таймингу сигналов. В силу самой природы GNSS высокая точность синхронизации делает ее хорошим выбором для согласованного взаимодействия узлов в распределенных системах.

Кроме точного времени, некоторые приложения, в частности «умное» земледелие, автономное вождение, автоматизация портов, отслеживание коммерческих самолетов и карты Google Maps, требуют точных данных о местоположении. В ответ на эти требования GNSS предоставляет точные сведения о местоположении и используется в широком спектре отраслей, включая сельское хозяйство, оборону, горнодобывающую промышленность и строительство.

Использование систем синхронизации SDR в приложениях синхронизации GNSS

Плата/блок генератора тактовой частоты SDR обеспечивает синхронную работу всех АЦП/ЦАП приемника и передатчика и FPGA. Эта



Рис. 1. Пример высокопроизводительной платформы SDR, подходящей для множества критически важных приложений и разработанной компанией Per Vices

внутренняя плата синхронизации содержит термостатированный кварцевый генератор (oven-controlled crystal oscillator, OCXO), который формирует очень точный сигнал частотой 10 МГц с погрешностью и временной и температурной нестабильностью не хуже 5×10^{-9} . Кроме того, данные генераторы характеризуются не только высокой стабильностью частоты, но и низким уровнем шума, в том числе и фазового, что необходимо для точной синхронизации по времени и, как следствие, синхронизации функций. Непревзойденная стабильность частоты собственного генератора SDR делает его тактовые импульсы идеальными для синхронизации в приложениях с жесткими требованиями по времени, таких как системы GNSS.

Распределение тактовой частоты SDR обеспечивает правильную синхронизацию различных функций системы GNSS. Помимо функций, связанных с дискретизацией, эта система распределения синхросигналов может не только выполнять привязку ко времени, но и синхронизировать другие операции об-

работки, в том числе функции преобразования с повышением и понижением частоты.

Сигналы тактовой частоты SDR можно использовать как в ведущем, так и в ведомом режиме. В ведущем режиме внутренние тактовые сигналы используются непосредственно в платформе SDR. Для применения тактовой частоты SDR в ведомом режиме требуется внешний опорный тактовый сигнал. Это предоставляет инженерам возможность гибко использовать систему синхронизации, оптимально соответствующую требованиям времени для конкретного приложения. Применение SDR в качестве основных тактовых сигналов для GNSS повышает гибкость систем и экономит ваше время и ресурсы.

Система распределения тактовых сигналов на основе SDR предлагает высокую гибкость и позволяет инженерам реализовывать новые функции и протоколы, не изменяя или модифицируя доступное оборудование. Кроме того, поскольку программные компоненты можно использовать повторно, эта технология сокращает время и ресурсы, необходимые для создания

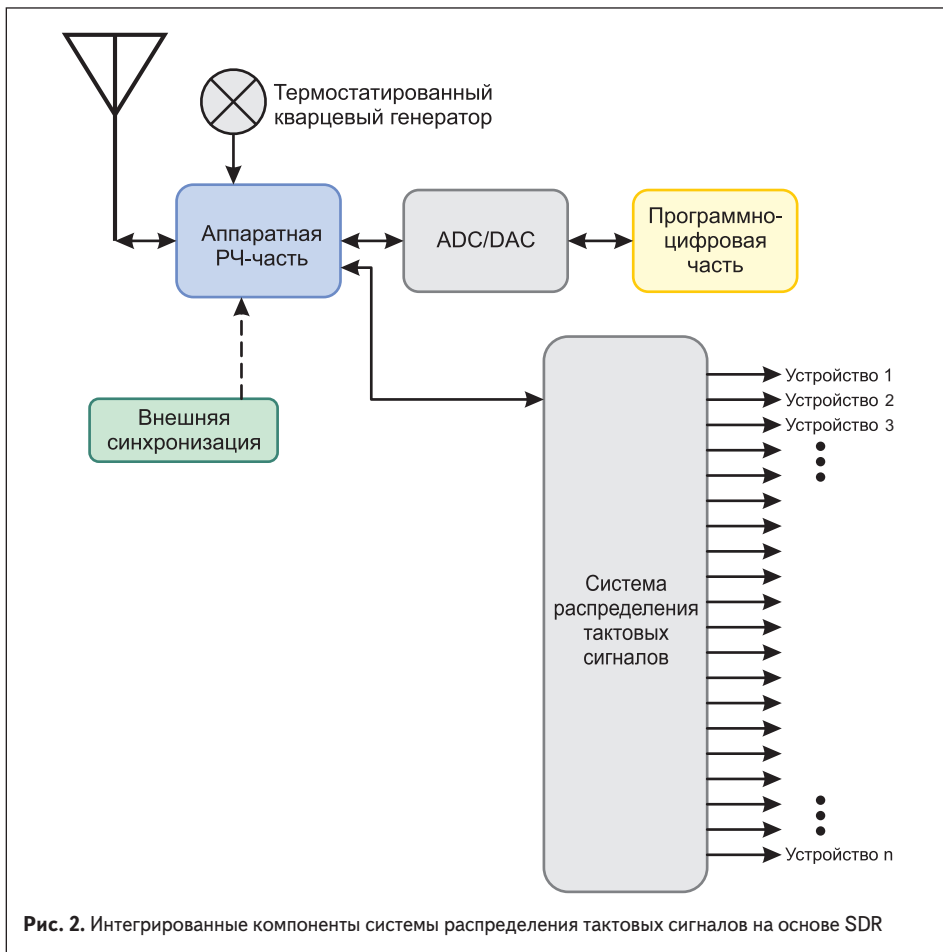


Рис. 2. Интегрированные компоненты системы распределения тактовых сигналов на основе SDR

прототипов и тестирования сложных систем распределения сигналов синхронизации.

Система синхронизации SDR предназначена для широкого круга приложений, требующих точной привязки ко времени, так что с платформой SDR не понадобится создавать отдельную сеть распределения синхросигналов для приложения. На рис. 2 показаны все интегрированные компоненты системы.

Наличие встроенной системы синхронизации позволяет инженерам экономить время и ресурсы, тем самым сокращая общие затраты на внедрение, тестирование и упрощая развертывание сложных систем. Кроме того, система синхронизации SDR обеспечивает очень высокую точность и стабильность, а ее характеристики сопоставимы или даже полностью превосходят внешние системы синхронизации.

Наземная станция GNSS на базе SDR

Наземная станция управления является критическим сегментом любой системы GNSS, требующим очень точной синхронизации (рис. 3). Некоторые из ключевых функций этой станции предусматривают отслеживание спутников группировки, вычисление их точного местоположения, отслеживание дрейфа спутников и корректировку их ориентации так, чтобы они оставались в правильной орбитальной плоскости. Кроме всего прочего, наземные станции выполняют мониторинг работоспособности спутников и через них осуществляют устранение возникающих проблем и нештатных ситуаций.

В основе любой наземной станции GPS/GNSS лежат опорные сигналы, которые обеспечивают

точную синхронизацию всей системы. Благодаря превосходным характеристикам внутреннего тактового генератора SDR он оптимален как источник эталонных сигналов синхронизации наземной станции GNSS. Для таких приложений тактовый генератор SDR используется в ведущем режиме.

Точность сигналов синхронизации, предоставляемых GNSS, существенно зависит именно от характеристик передачи и приема сигнала. Для передачи сигналов между наземными станциями и спутниками GNSS использует диапазоны L1 (1575,42 МГц) и L2 (1227,60 МГц). Наземные сегменты для генерации системного времени используют атомные часы, в то время как приемники используют тактовые генераторы для поддержания своей синхронизации. Хотя эти две шкалы времени обладают высокой точностью, их измерения времени имеют небольшое отклонение. Таким образом, необходимо, чтобы сигнал времени со спутника, принимаемый пользователем, мог быть тем или иным образом привязан к эталонной шкале времени.

Шкалы системного времени, используемые GNSS, основаны на всемирном координированном времени (Coordinated Universal Time, UTC). Эта шкала времени после обработки создается и распространяется Международным бюро мер и весов (International Bureau of Weights and Measures, BIPM). UTC находится в пределах 1 с от среднего солнечного времени на 0° долготы. Именно опора на всемирное координированное время служит ориентиром для измерения времени в широком диапазоне систем хронометража, в том числе и для GNSS.

UTC имеет наивысшую точность в ретроспективе. Пользователи, которым требуется

аппроксимация в реальном времени, должны получить ее из временной лаборатории, которая распространяет аппроксимацию, применяя такие методы, как GPS или радиосигналы времени. Институты и исследовательские центры, поддерживающие реализацию UTC, известного как шкала времени UTC(k), где k — аббревиатура для временной лаборатории, используют высококачественные часы и соответствующее передающее оборудование.

Системы точного времени, в частности системы хронометража GNSS, должны гарантировать, что их измерения времени надежны и соответствуют региональным или международным стандартам.

Характеристики тактовой системы SDR отвечают требованиям точности и делают ее идеальной для различных операций DSP, включая декодирование, кодирование, модуляцию и демодуляцию. Кроме того, реконфигурируемость платформ SDR позволяет инженерам создавать прототипы и тестировать новые функции и протоколы без изменения существующего оборудования. Это значительно снижает общие затраты на обслуживание системы радиосвязи системы GNSS.

Заключение

Обычные системы радиосвязи реализуются с помощью специализированных аппаратных компонентов. При таком подходе тратится много ресурсов, а системы получаются негибкими и очень чувствительными к устареванию. Эти проводные системы сложно модернизировать, потому что процесс предполагает модификацию или замену существующего оборудования.

Конфигурируемая архитектура SDR позволяет инженерам внедрять новые функции и протоколы без изменения доступного оборудования, подбирая их для приложений синхронизации в системах GNSS. Гибкость данных платформ помогает инженерам реализовывать универсальные системы, совместимые с различными группировками GNSS. Парадигма SDR также предусматривает реализацию масштабируемых систем, способных принимать текущие и будущие созвездия GNSS.

Благодаря жестким временным характеристикам часов SDR эти платформы могут удовлетворить строгие требования по синхронизации современных приложений GNSS. Кроме того, возможность многократного использования реконфигурируемых модулей SDR экономит время, деньги и ресурсы, необходимые для разработки и тестирования новых наземных станций управления GNSS. Таким образом, платформы SDR обычно считаются наиболее подходящим решением для тестирования и моделирования систем и оборудования GPS/GNSS. ■

Литература

1. Nditiru S. SDRs as a Reference and Common Clock Source for GNSS Timing Apps. www.mwrf.com/technologies/systems/article/21168561/per-vice-corp-sdrs-as-a-reference-and-common-clock-source-for-gnss-timing-apps
2. Per Vices: Innovative. High Performance. Reliable. www.pervices.com

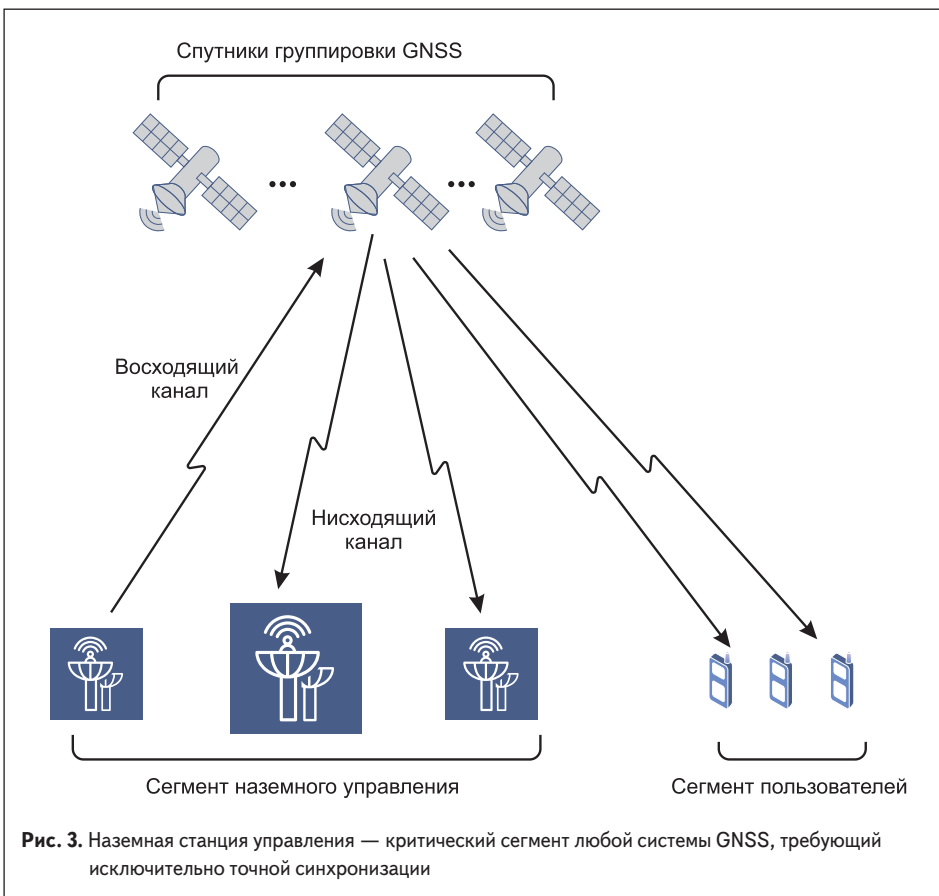


Рис. 3. Наземная станция управления — критический сегмент любой системы GNSS, требующий исключительно точной синхронизации