

НАВИГАЦИОННЫЙ ПРИЕМНИК НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ SDR

К. Борре, И.А. Кудрявцев

амарский государственный аэрокосмический университет им. ак. С.П. Королёва (Национальный Исследовательский институт), Самара, Россия

rtf@ssau.ru

Глобальная спутниковая система (GPS) действует на протяжении 20 лет и обслуживает около 2,5 миллиардов пользователей. В настоящее время сигналы, передаваемые со спутников GPS, постоянно совершенствуются. Текущий GPS-сигнал для гражданских лиц занимает полосу пропускания в 2 МГц, центрированный на одной радиочастоте. Новые гражданские частоты будут занимать полосу в 24 МГц, разнесённую на трёх радиочастотах. Кроме того, по всему миру для дополнения или конкуренции с GPS разворачиваются новые глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС). Российская Федерация восстанавливает свою систему ГЛОНАСС, а Китай стремительно совершенствует свою международную систему КОМПАСС (COMPASS). Европа планирует запустить систему Галилео, которая разместит на орбите 27 схожих с GPS спутников. В Японии и Индии разрабатываются региональные системы. Таким образом, в ближайшем будущем число спутников может увеличиться с 60 до 120 и больше.

Важно отметить, что все эти новые спутники будут передавать сигналы для рядовых пользователей на множестве частот. Новые спутники смогут обеспечить геометрическое разнесение, а новые сигналы – частотное. Через следующие десять лет, достоинства спутниковой навигации с использованием геометрического и частотного разнесения дадут о себе знать. Технические преимущества увеличат точность автономной ГНСС с 10 до 1 метра. Что более важно, данные изменения позволят увеличить площадь покрытия спутниковой навигации и также обслуживать помещения и городскую среду. Разнесение поможет уменьшить вредное воздействие радиопомех (RFI).

Однако, для максимального увеличения производительности и пользы обществу необходимы новые векторные алгоритмы. Эти алгоритмы будут встроены в приёмники, которые будут носить с собой наши сограждане. Сегодня приёмники GPS обрабатывают сигналы с каждого GPS-спутника отдельно. Точнее, для оценки времени прохождения сигнала от каждого спутника до приёмника в каждый приёмник встроены алгоритмы отслеживания. Мы называем это федеративной стратегией, потому что следящая система для любого данного из спутников не влияет на работу следящей системы любого другого. Такие отдельные следящие системы состоят из корреляторов, которые, как известно, являются оптимальным вариантом для отслеживания одного спутника. Кроме того, используя современные процессоры, нетрудно реализовать федеративную стратегию. Если сигнал от одного спутника ослабляется или гасится листвой или зданиями, то вектор информации со всех спутников позволит продолжить слежение за спутником с ослабленным сигналом. Такого обмена информацией не происходит в современной федеративной архитектуре. В сущности, обмен возможен потому, что сигналы со всех спутников изменяются во времени благодаря движению и изменению местоположения человека, несущего приёмник. Такая общая информация называется режимом пользователя. Векторные процессоры будут использовать информацию со всех спутников для более точной оценки режима пользователя. Далее эта информация будет применяться для обновления и уточнения оценки положения отдельных спутников. Такая стратегия сильно отличается от федеративных архитектур, где отдельные устройства оценки должны действовать самостоятельно.

Векторная обработка позволит использовать новый набор ценных приложений. Например, они могут обеспечить безопасность работы важных приложений в наземных условиях. До сих пор единственная область, в которой широко используется спутниковая

навигация для обеспечения безопасности жизнедеятельности, является авиация, где GPS-антенны размещаются на верхней части самолета, в зоне, свободной от воздействия отраженных сигналов. Мы считаем, что векторная обработка наряду с совершенствованиями в группах ГНСС будет применяться и в помещениях и городских условиях.

Программно-управляемые приёмники необходимы для получения максимальной выгоды от такой гетерогенной и динамичной среды. В действительности большинство GPS-приемников выполнены на проблемно-ориентированных интегральных микросхемах (ASICs), но на разработку таких приёмников требуется 24 и более месяцев для опытной инженерной группы. Мы ищем приёмник, который сможет вмещать и оценивать новые спутники в течение недель, используя адаптацию к данной платформе (процессору). Такой приёмник обладал бы высокой ценностью для ГНСС-исследователей в академиях и университетских лабораториях. Также он был бы ценен и для промышленности, так как обеспечивал бы быстрой обработкой новых сигналов и методами обработки сигналов. Другими словами, он бы значительно сократил цикл разработки.

Векторный процессор на основе SDR может быть использован как ядро приёмников высокой, средней и низкой точности. Рынок приёмников высокой точности довольно узкий, однако для приёмников низкой и средней точности практически неограничен.

Область применения высокоточных приёмников: геодезическая съёмка, постановка судов в док, наблюдение за большими искусственными сооружениями (мосты, высокие здания, атомные электростанции), мониторинг земной коры в тектонически активных областях, точное земледелие, роботизированное управление.

Приёмник средней точности идеально подходит для интеллектуальных транспортных систем, автоматической оплаты на парковке, наблюдение за домашним скотом, отслеживания животных и наблюдения за охраняемыми домами. Низкоточный приёмник может применяться в мобильных телефонах, управлении автомобилем, слежении за объектами, прогулочных судах, геокладоискательстве, слежением за возможно украденными объектами.

Кратко говоря, в изменении метода производства ГНСС-приемников, а также в будущем возможном их применении лежит огромный потенциал. Мы планируем провести технологию приёмника на шаг вперёд на благо обществу и человечеству.

Любая ГНСС состоит из трёх частей: космический сегмент (спутники), сегмент управления (следающие устройства вблизи экватора и главный вычислительный узел) и пользовательский сегмент. Такое разделение на три части дает возможность производить дешёвые устройства для пользователей, называемые приёмниками. Традиционно ГНСС-приемники производятся в виде аппаратных средств. Это означает, что готовый приёмник трудно модифицировать.

Концептуально данная ситуация менялась в 1997 году, когда Деннис Эйкос ввел понятие программно-управляемая связь (SDR). В то время для практической реализации технологические средства еще не были готовы. Это случилось на десять лет позже. В 2007 году университетская группа Ольборга и Деннис Эйкос опубликовали специальный учебник, в котором находился DVD-диск с кодом, описывающим программно-управляемый приёмник. Языком программирования был Matlab (Матлаб). Книга оказала значительное влияние на данную сферу деятельности.

Вскоре многие разработчики стали применять идею программного управления. Технология SDR очень быстро развивается и получает признание, а также завоевывает огромный интерес к индустрии приемных устройств. SDR направлена на приемники с гибкой открытой архитектурой, что позволяет создавать перенастраиваемые SDR, где для каждого модуля возможен динамический выбор параметров. Приемник использует широкополосный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который захватывает все каналы программного радиоузла. Затем приемник выделяет сигнал, конвертирует с понижением частоты, и демодулирует его с помощью программного обеспечения процессора общего назначения. Идея заключается в том, чтобы расположить АЦП как можно ближе к антенне, насколько это удобно, отправить демодулированные сигналы в программируемый элемент, а также для до-

стижения желаемого результата применить методы цифровой обработки сигнала. SDR является идеальной платформой для разработки, тестирования алгоритмов и возможной интеграции других устройств.

SRD пытается опознать сигналы, присутствующие в полученном наборе данных. Такой сбор данных появляется при использовании последовательных и параллельных методов поиска. После получения ГНСС-сигнала происходит слежение за кодом и несущим сигналом и демодуляция данных. Для этой цели применяются дискриминаторы с фазовой автоматической подстройкой частоты по задержке (DLL). Для отслеживания сигнала несущей волны используется автоматическая подстройка частоты (FLL) и фазовая автоподстройка частоты (PLL). Данные элементы очень важны для повышения точности прецизионного наблюдения, представленном в ГНСС. Мы восстанавливаем данные по навигации и преобразуем их в эфемериды. Эфемерид образует фундамент вычисления положения спутника. Далее нам необходимо оценить обработанную и необработанную составляющие времени передачи. С такими сводными данными мы представляем модель вычисления положения приемника.

На рисунке 1 представлена плата, которая была использована для разработки и тестирования основных алгоритмов.



Рис. 1 – DGC-приемник

Программно-управляемый приемник состоит обычно из 12 каналов. Аппаратный или программный приемник, использующий GPS C/A код на L1 дает точность позиционирования менее 10 метров. Если пользователю требуется более высокая точность, он может начать с исключения ионосферной задержки. Это достигается с помощью приемника двойной частоты, так как ионосферная задержка зависит от частоты. Приемник также устраняет орбитальные и часовые ошибки. В дополнение к L1, GPS передает сигналы на L2, а в ближайшем будущем даже на L5. Все эти сигналы становятся доступными для рядовых пользователей. То есть, у нас есть возможность создания приемника тройной частоты.

Альтернативная процедура для устранения ионосферной задержки заключается в использовании спутниковой системы дифференциальных поправок (SBAS), таких как европейская геостационарная служба навигационного покрытия (EGNOS), широкозонная корректирующая система (WAAS) и российская система дифференциального корректирования (SDCM). Кроме того, каждый получает информацию о целостности.

Дальнейшая аугментация заключается в создании мультисистемной технологии SDR. На сегодняшний день на рынке аппаратного обеспечения предлагаются комбинированные GPS и GLONASS приемники. Наш долгосрочный проект будет готовиться к системам GPS, Галилео, GLONASS и Компасс. Таким образом, путь от одного канала до приемника одной частоты (12 каналов), от приемника одной частоты до приемника двойной/тройной частоты (24/36 каналов) и от приемника одной частоты до приемника двойной/тройной частоты до мультисистемного приемника (более 100 каналов) очень долгий и трудный. В будущем, ве-

роятно, для решения конкретной задачи на рынке будут востребованы не мультисистемные приемники, а сочетания нескольких из наиболее важных сигналов. Таким образом, приемник, скорее всего, будет использоваться для решения конкретной задачи, а не какой-то одной стандартной. Значит приемнику снова нужна гибкая, модульная архитектура. Здесь хорошо подходит SDR.

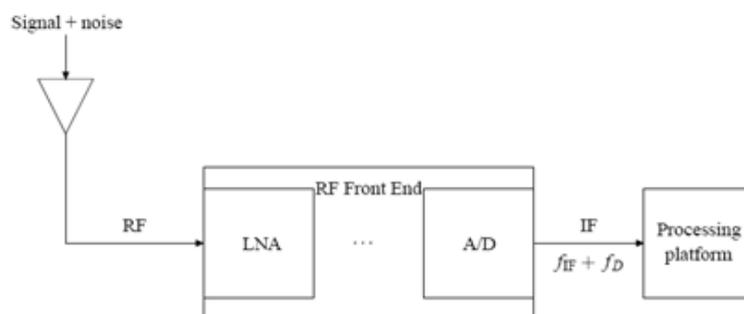


Рисунок 2 – Радиочастотный сигнал (RF), сигнал промежуточной частоты (IF), малошумящий усилитель (LNA), аналого-цифровые (A / D) преобразователь, и платформа обработки.

Одна из важнейших проблем - аутентификация сигнала. В аутентификации на основе GPS заложены следующие вопросы: «Откуда вы знаете, что вы находитесь там, где вы думаете?», «Откуда я знаю, что вы находитесь там, где вы говорите?»

В идеале в области рядового пользователя ГНСС будут встроены элементы безопасности. Как и в оригинальной идее Интернета, система ГНСС не была предназначена для рядового пользователя. Система Galileo, возможно, предложит такую особенность, но не бесплатно. Но в ближайшие годы такой вариант не появится.

Подмена – это ситуация, когда один человек пытается заставить поверить пользователя в то, что тот находится в месте, отличном от истинного местоположения, и пользователь об этом не подозревает. Его подменили!

По случаю взлома сигнала спутник-приемник ГНСС уязвим для атак, которые являются настоящей ежедневной чумой для ноутбуков, центральных процессоров и Интернета.

Представляемый приемник будет использовать так называемую технологию моментального снимка. Как показано на рисунке 2, законченный приемник состоит из антенны, внешнего интерфейса и платформы обработки. В некоторых вариантах применения будет заманчивым встроить платформу обработки в общий центральный сервер и позволить ему осуществлять основную обработку сигналов и окончательное вычисление местоположения. Но за это мы должны заплатить передачей цифровых данных от внешнего интерфейса на сервер. Очевидное преимущество – физическая составляющая становится меньше и дешевле, а вычисление местоположения на сервере, по факту, становится более точным, надежным и подлинным. Данные преимущества столь значительны, что превосходят затраты и трудности использования метода передачи в режиме реального времени. Передача может осуществляться посредством отправки СМС или, что более удобно, портативного подключению к сети Интернет.

В случае если осуществление такой связи невозможно, то для возможной передачи данные должны храниться на энергонезависимой памяти.

Благодаря использованию данных методов проблемы безопасности от транспортного средства переходят на надежный сервер аутентификации. Данная стратегия уменьшает затраты и переносит уязвимую часть с плеч всех пользователей на некоторое число разнесенных серверов.

В непосредственной близости от каждого сервера должен работать полный приемник двойной частоты, включая SBAS. Это дает местоположение, время, оценку Я, необходимую составляющую процедуры аутентификации и т.д.

Такое разбиение приемника на две составляющие называется техникой мгновенного снимка. Мы не передаем полную последовательность цифровых сигналов, а только короткие

Секция 5. Проектирование и конструирование малых космических аппаратов и их систем

выбранные периоды, обычно 20 мс. Только эти короткие составляющие сигнала упаковываются и отправляются на сервер. Последовательность в 20 мс обычно составляет несколько килобайт данных для одной ГНСС.

Разработку нового приемника GNSS планируется продолжить в научно-исследовательской лаборатории, которая создается в СГАУ. До конца года мы будем создавать Matlab-модель приемника, используя возможности суперкомпьютера «Сергей Королев». В 2015 году планируется создание прототипа на базе FPGA.

Список источников:

- [1] Sennott, J. & Senffer, D. (1992) The use of satellite constellation geometry and a priori motion constraints for prevention of cycle slips in a GPS signal processor, Navigation, volume 39, pages 217–236*
- [2] Spilker, J. (1996) Fundamentals of Signal Tracking Theory. In Global Positioning System: Theory and Application Volume I, edited by B. Parkinson and J. Spilker, Progress in Aeronautics and Astronautics, volume 163*
- [3] Kanwal, Nazia & Hurskainen, Heikki & Nurmi, Jari (2010) Vector Tracking Loop Design for Degraded Signal Environment. Ubiquitous Positioning Indoor Navigation and Location Based Service (UPINLBS). IEEE*
- [4] Lo, Sherman & de Lorenzo, David & Enge, Per & Akos, Dennis & Bradley, Paul (2009) Signal Authentication. A Secure Civil GNSS for Today. InsideGNSS, pages 30–39, September/October*