

Б. П. КУМАР, Ч. С. ПАЙДИМАРИ

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ СПОСОБ СБОРА РАДИОЧАСТОТНЫХ ДАННЫХ GPS ДЛЯ ПРОГРАММНО РЕАЛИЗУЕМЫХ ПРИЕМНИКОВ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

Представлены результаты разработки программно реализуемого приемника (ПП) спутниковой навигации, в котором обработка сигналов, в том числе первичная, осуществляется в персональном компьютере (ПК). Такой приемник является дешевой альтернативой классическому аппаратному приемнику, но обладает недостатками, среди которых потеря данных при регистрации исходных спутниковых сигналов на жесткий диск ПК. Для того чтобы сократить эти потери, предложено использовать буфер между оперативной памятью и жестким диском. Приводятся результаты натурной апробации такого подхода с применением универсального программного определяемого радиоустройства USRP N210 kit. Сопоставляются проценты необнаруженных сигналов спутников с использованием и без использования буфера. В роли эталонных данных выступали результаты обнаружения спутников обычного аппаратного приемника i-blox.

Ключевые слова: GPS, сбор РЧ-данных, программно реализуемый приемник, USRP.

Введение

Местоположение потребителя определяется за счет группировки спутников глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС). Глобальная система позиционирования GPS представляет собой одну из таких группировок спутников [1] и широко используется в навигации. Большинство приемников GPS снабжены специализированной микросхемой и являются неадаптивными. ПП ГНСС благодаря своей адаптивности применяются при апробации различных архитектур на этапе создания прототипов [2]. Главными преимуществами ПП являются его гибкость, возможность настройки на разные частоты и устойчивость к температурным воздействиям. Поскольку приемник программируется, значительно снижается зависимость от аппаратного обеспечения за исключением входного РЧ-модуля [3]. Таким образом, разнообразные алгоритмы [4] могут быть протестированы без замены аппаратуры. Приемник также можно испытывать при различных тестовых сценариях, а результаты достаточно легко поддаются оцениванию. Форматы сбора сырых радиочастотных данных в этих приемниках делятся на два типа:

- комплексные данные, состоящие из синфазных и квадратурных каналов;
- вещественные данные от одного канала.

Кумар Бойя Прадип. Научный сотрудник, факультет электроники и технической кибернетики, Университетский технический колледж, Османский университет (г. Хайдарабад, штат Телангана, Индия).
Пайдимари Чандра Секхар. Профессор, факультет электроники и технической кибернетики, Университетский технический колледж, Османский университет.

Научный редактор перевода д.т.н. Д.А. Кошаев.

Программируемый приемник ГНСС состоит из двух модулей:

- входного РЧ-модуля, принимающего сигналы спутников;
- процессора, используемого для реализации алгоритмов декодирования спутниковых сигналов.

В статье подробно рассматривается входной РЧ-модуль, принимающий спутниковые сигналы в режиме реального времени, а также регистрирующий модуль, предназначенный для обнаружения видимых спутников. Схема входного РЧ-модуля [5] представлена на рис. 1.

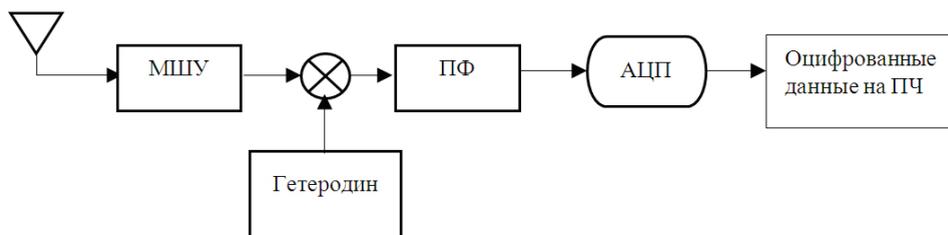


Рис. 1. Базовая архитектура входного РЧ-модуля

Входной РЧ-модуль состоит из следующих основных элементов: антенны, маломощных усилителей (МШУ), гетеродина, полосового фильтра (ПФ) и аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Антенна с правосторонней круговой поляризацией улавливает сигналы от спутника. МШУ служат для усиления входящего сигнала и подавления помех [6].

Гетеродин генерирует сигнал промежуточной частоты (ПЧ) путем преобразования усиленного входного сигнала с понижением частоты. Затем этот сигнал ПЧ проходит через полосовой фильтр (ПФ) для выхода на нужную полосу частот. Выходной сигнал полосового фильтра преобразуется в цифровой с помощью АЦП [7]. Алгоритмы первичной обработки сигналов применяются к преобразованному оцифрованному сигналу ПЧ.

В работе [8] предложена схема генератора сигналов ГНСС и системы воспроизведения с использованием входного РЧ-модуля USRP. Авторы отмечают, что существующие высокотехнологичные генераторы или имитаторы сигналов ГНСС отличаются высокой стоимостью и не являются адаптивными. Для решения этих проблем применяется адаптивный и экономичный входной РЧ-модуль USRP. С помощью специализированных программно-реализованных алгоритмов формируется сигнал GPS, который передается посредством USRP. Приемник NOVATEL применяется для получения переданного сигнала GPS. В ходе ряда исследований изучались различные полосы пропускания и коэффициенты усиления применительно к разным дочерним платам. Полученные результаты сравнили со значениями отношения «сигнал–шум» для передающего устройства и отношения «несущая–шум» для приемного устройства [8].

В работе [9] предложен недорогой ППП ГНСС на базе USRP для исследования эффекта многолучевости. Авторы использовали устройство USRP в качестве бюджетного входного РЧ-модуля, а также ряд функций Matlab для программной постобработки.

Архитектура ПРП позволяет принимать необработанные сигналы от спутников ГНСС в отличие от обычных аппаратных приемников ГНСС, которые выдают обработанные данные. Оценка отношения «сигнал несущей–шум» является главным параметром для исследования эффектов многолучевости и постобработки. Авторы использовали входной РЧ-модуль версии USRP 2 с дочерней платой RFX 1800, способной захватывать частотный диапазон от 1,5 до 2,1 ГГц [9].

В [10] представлен анализ погрешностей сигналов GPS, принятых устройством USRP. Авторы вычислили значения погрешностей устройств USRP как в неподвижном состоянии, так и в процессе движения. Было проведено сравнение расчетных погрешностей приемников USRP и серийных приемников GPS. При этом использовалось усиление в 30 дБ для снижения шума и предотвращения потери пакетов данных. Это было учтено при постобработке сигналов ГНСС.

Из опубликованных работ следует, что большинство дочерних плат устройства USRP поддерживает уровень шума порядка 8 дБ, тогда как входные РЧ-модули ГНСС требуют усиления по крайней мере в 50-60 дБ для приема слабых сигналов ГНСС. Необходимый уровень усиления достигается с помощью активных антенн с внешними блоками питания постоянного тока. Основной проблемой USRP является потеря данных из-за погрешностей, вызванных избытком или недостаточностью сигналов ГНСС, принимаемых в режиме реального времени. Это снижает точность регистрирующего модуля, в результате нельзя применить алгоритмы первичной обработки сигналов. В настоящей работе вышеупомянутые проблемы решаются путем программирования на уровне потоков в блоке управления данными USRP [11].

Схема аппаратного обеспечения входного РЧ-модуля

ПРП ГНСС можно разделить на два основных блока: входной РЧ-модуль для приема сигналов ГНСС в режиме реального времени и центральный ПК или процессор для выполнения полной цифровой постобработки [12]. В качестве входного РЧ-модуля используется устройство USRP-N210 с дочерней платой WBX, работающей в диапазоне частот от 50 МГц до 2,2 ГГц. Активная антенна GPS оснащена модулем Bais-T с внешним источником питания постоянного тока 3-5 В. Технические характеристики устройства USRP N210 перечислены в табл. 1 [13].

Таблица 1

Технические характеристики USRP N210

№	USRP N210	Характеристики
1	Программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС)	Xilinx Spartan 3A
2	АЦП	14 бит – два 100 МС/с
3	Дочерняя плата WBX	от 50 МГц до 2,2 ГГц
4	Интерфейс центрального ПК	Gigabit Ethernet

Сначала радиосигналы [13] принимаются на активную антенну в USRP. Эти радиосигналы пропускаются через модуль предварительной обработки на низкой ПЧ и модуль преобразования с понижением частоты, имеющиеся в USRP. Пре-

образованный аналоговый сигнал с пониженной частотой проходит через модуль АЦП, который выдает цифровой сигнал с частотой дискретизации f_s . Дискретизированный цифровой сигнал, преобразованный с понижением частоты, формируется в результате дискретизации с помощью низкочастотного (НЧ) фильтра с интервалом выборки f_s/N , где N – коэффициент дискретизации полосы пропускания. Наконец, комплексный (I и Q) цифровой сигнал ПЧ с 16-битным разрешением передается в центральный ПК через интерфейс Gigabit Ethernet. Блок-схема устройства USRP показана на рис. 2.

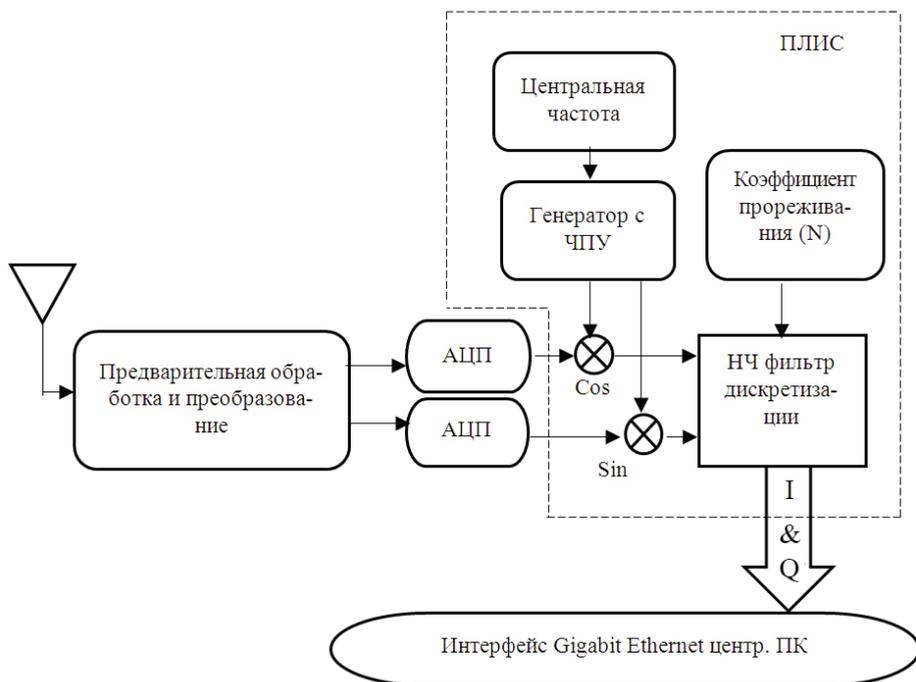


Рис. 2. Блок-схема РЧ-модуля USRP

Преобразование сигнала с понижением частоты, аналого-цифровое преобразование и дискретизация выполняются в ПЛИС, расположенной в устройстве USRP. Соответствующие алгоритмы постобработки выполняются в центральном ПК или процессоре [14].

Сопряжение USRP N210 с центральным ПК. Мы воспользовались устройством USRP N210 фирмы Ettus Pvt. Ltd с различными дочерними платами, обеспечивающими реализацию разных схем ППП. Устройство USRP для приема сигналов ГНСС работает в операционной среде Linux. Входной РЧ-модуль USRP имеет необходимое встроенное программное обеспечение, которое устанавливается с помощью специального инструмента прошивки. После завершения установки встроенного программного обеспечения USRP устройство будет связываться с центральным ПК на уровне IP/UDP через Gigabit Ethernet [15]. По умолчанию USRP присваивается IP-адрес 192.168.10.2. Для обеспечения связи центральный ПК должен иметь статический IP-адрес 192.168.10.1, а рекомендованная маска подсети – 255.255.255.0. Конфигурация Ethernet для нескольких устройств USRP представлена в табл. 2 [16].

Конфигурация Ethernet для нескольких устройств USRP

№	Конфигурация для USRP N210 прибор-1	Конфигурация для USRP N210 прибор-2
1	Интерфейс Ethernet IPv4, адрес: 192.168.10.1	Интерфейс Ethernet IPv4, адрес: 192.168.20.1
2	Интерфейс Ethernet, маска подсети: 255.255.255.0	Интерфейс Ethernet, маска подсети: 255.255.255.0
3	USRP2 прибор IPv4, адрес: 192.168.10.2	USRP2 прибор IPv4, адрес: 192.168.20.2

После настройки интерфейса Ethernet между USRP и центральным ПК устройство USRP может быть приведено в действие с помощью графического инструмента *GNU radio companion* (GRC). Инструмент GRC представляет собой открытое программное обеспечение на базе Linux, которое используется для реализации различных алгоритмов первичной обработки. В центральный ПК необходимо установить драйвер аппаратного обеспечения USRP (UHD) для связи USRP через Ethernet. Приборы USRP, подключенные к центральному ПК, могут быть идентифицированы с помощью команды «*uhd_find_devices*», при этом на дисплей конечного пользователя выводятся сведения о подключенных приборах. Информацию о дочерней плате в USRP можно посмотреть с помощью команды «*uhd_usrp_probe*» [17].

Сбор и регистрация данных в режиме реального времени

В этом разделе описывается процесс сбора данных в режиме реального времени с помощью РЧ-модуля USRP. Схема этого процесса показана на рис. 3.

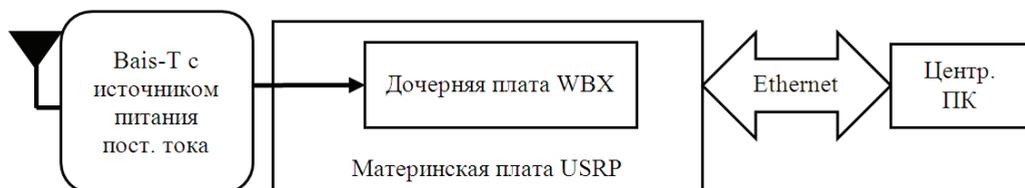


Рис. 3. Схема сбора данных в режиме реального времени

На рисунке активная антенна GPS подведена к контуру Vais-T, а выходной порт контура Vais-T [18] подключается к РЧ-порту устройства USRP. Полученный сигнал GPS имеет центральную частоту L1-1575.42 МГц с нулевой промежуточной частотой [19].

В предлагаемом подходе прием входного комплексного сигнала осуществляется на частоте 10 МГц в соответствии с теоремой Найквиста. Этот сигнал оцифровывается с помощью встроенных АЦП. Оцифрованные комплексные выборки I и Q записываются в центральном ПК через Gigabit Ethernet. Архитектура USRP настраивается с помощью инструмента GRC.

Библиотека GRC состоит из нескольких блоков обработки, которые можно использовать для реализации разных схем ППП [20]. Исходный блок USRP применя-

ется в качестве источника сигналов, а WX GUI FFT sync служит для наблюдения за спектром частоты сигнала. Необработанный входящий сигнал можно записать в формате бинарного файла в центральном ПК с помощью блока синхронизации файлов. Предусматривается задание частоты и скорости передачи данных. Блоки источников сигнала могут отличаться и зависеть от различных РЧ-модулей. Функциональность блоков обработки определяется пользователем на основе входных параметров; эти блоки являются модульными, и их можно перекомпоновывать. Порты ввода-вывода в блоках обработки взаимосвязаны друг с другом и составляют граф потока.

Во время записи сигнала GPS в центральный ПК главную проблему представляет переизбыток данных в драйвере аппаратного обеспечения USRP (UHD). Это происходит, когда скорость передачи данных на жестком диске центрального ПК не совпадает со скоростью поступления информации. В результате некоторые пакеты передаваемых данных теряются. Основная цель настоящей работы – решение проблемы переизбытка данных путем установления очередности управления данными из оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), как это показано на рис. 4.

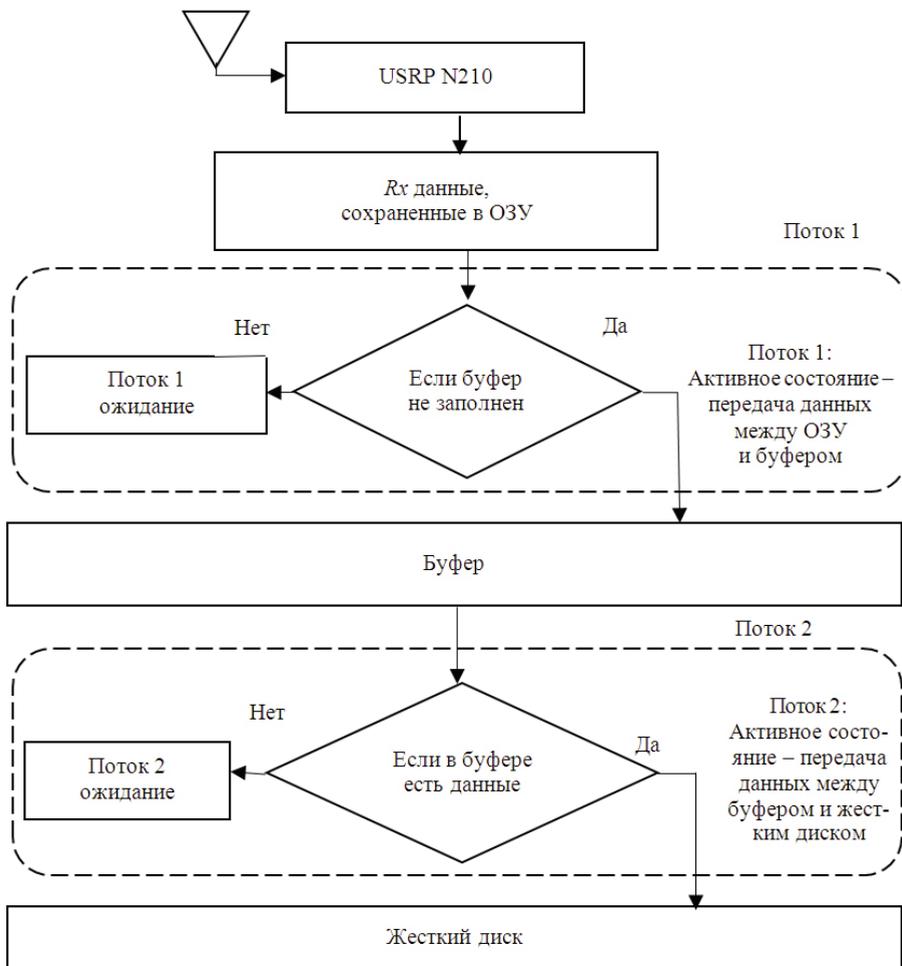


Рис. 4. Схема записи потоков данных ПРП

Подробное описание алгоритма приведено ниже.

Алгоритм

1. Устройство USRP N210 принимает данные от антенны и передает их в ПК.
2. Сначала полученные данные хранятся в ОЗУ ПК.
3. В первом потоке данные передаются из ОЗУ в буфер.
4. Данные сохраняются в буфере, когда первый поток находится в активном состоянии. При заполнении буфера поток переходит в режим ожидания.
5. Во втором потоке данные передаются из буфера на жесткий диск ПК.
6. По умолчанию второй поток находится в режиме ожидания, пока буфер пустой. При наличии данных в буфере второй поток переходит в активное состояние и передает данные на жесткий диск.

После сохранения данных GPS в центральном ПК необходимо определить в них доступные спутники. Этот процесс называется захватом сигналов. Для его реализации в ПРП подходит параллельный поиск по временному сдвигу кода.

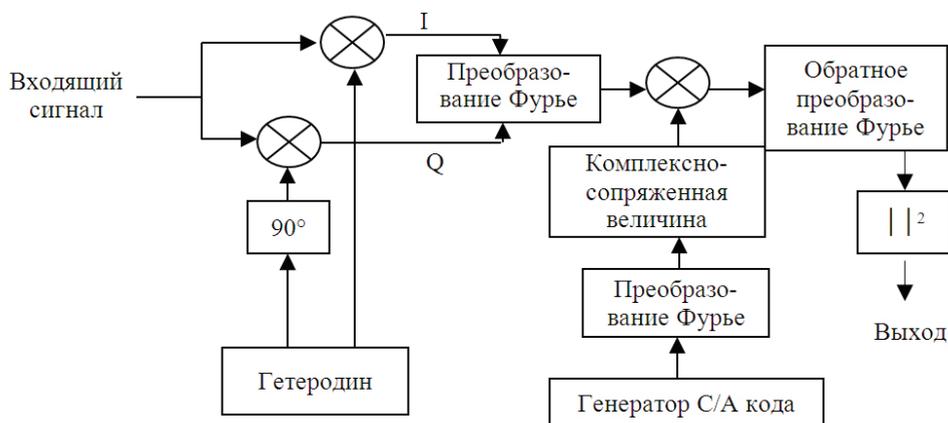


Рис. 5. Метод захвата с параллельным поиском по временному сдвигу кода

В регистрирующем модуле ПРП используется метод круговой корреляции для нахождения сигнала. Схема метода обнаружения с параллельным поиском по временному сдвигу кода представлена на рис. 5. Этот метод был предложен в работе [21].

Данные GPS, записанные с помощью устройства USRP, подаются на вход алгоритмов первичной обработки сигналов для идентификации видимых спутников в среде MATLAB [21]. В регистрирующем модуле алгоритм параллельного поиска по временному сдвигу кода определяет два параметра видимых спутников, а именно сдвиг кода и частоту. Методом круговой корреляции определяются значения корреляционной функции между данными GPS, полученными за 1 мс, и сгенерированным в приемнике C/A-кодом с различными смещениями. По этим значениям вырабатывается оценка сдвига C/A-кода. Когда сгенерированный C/A-код точно совпадает с входными данными, происходит резкий выброс корреляционной функции. Как только определится сдвиг для точно совпадающих C/A-кодов, необходимо исключить несущую частоту. Для этого нужно умножить сгенерированную в приемнике несущую частоту на несущую частоту входящего сигнала.

Частоты спутников, присутствующие во входном сигнале, слегка отклоняются от своих исходных частот из-за преобразования с понижением частоты или из-за эффекта Доплера. Доплеровский сдвиг частоты может составлять ± 10 кГц. Для идентификации видимых спутников несущая частота входного сигнала должна приближаться к сгенерированной несущей частоте. После исключения несущей для определения видимости спутника достаточно искать частоту с шагом 500 Гц [21]. Процедура поиска повторяется для всех 32 спутников GPS. Когда все возможные комбинации значений сдвига кода и частоты будут рассмотрены, из них выбирается та, которая соответствует максимуму заданного критерия. Если критерий для этой комбинации превышает порог, данный спутник считается обнаруженным.

Результаты апробации

Вне помещения сигнал GPS в режиме реального времени записывается устройством USRP N210 с использованием GNU-радио. В текущем разделе представлены соответствующие результаты захвата сигналов по записанным данным. Характеристики, используемые для записи данных, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики данных GPS

Параметр	Частота
Центральная частота	L1-1.57542 ГГц
Полоса частот	2 МГц
Частота дискретизации	10 МГц

Измеренная мощность сигнала, записанного с помощью инструмента GRC (GNU-радио) вне помещения, а также амплитуда сигнала составляют порядка -61 дБ. Спектр сигнала GPS при приеме вне помещения показан на рис. 6.

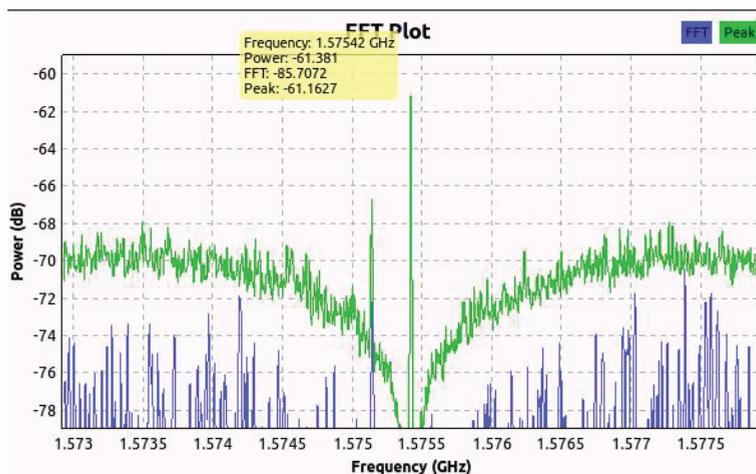


Рис. 6. Запись сигнала GPS с использованием USRP N210 с инструментом GRC вне помещения

Диаграмма результатов обнаружения сигнала обычным методом показана на рис. 7, а. Как видно из рисунка, горизонтальная ось представляет системный номер (PRN) спутника, а вертикальная ось – критерий захвата. В проводимом эксперименте принят порог видимости 2. Пороговое значение прямо пропорционально количеству сигналов в полученных данных. Для данных, которые будут обрабатываться позже, уровень шума в сигнале должен быть как можно ниже. Таким образом, более низкий порог может привести к ложному обнаружению спутников. Спутники, которые считаются необнаруженными, обозначены синим цветом.

Из рис. 7, а можно видеть, что ни у одного спутника величина критерия обнаружения не превышает заданное пороговое значение. Это связано с тем, что несущая частота входного сигнала отклоняется от исходной несущей частоты вследствие недостаточного количества выборок для обработки сигнала, что приводит к потере данных в сигнале.

На рис. 7, б показан результат применения алгоритма обнаружения после сбора данных посредством предложенного метода управления потоками данных с применением буфера памяти. Спутники 2, 13, 15, 25 и 29, имеющие величину критерия обнаружения больше заданного порогового значения, считаются видимыми и отмечены зеленым цветом. Поскольку предлагаемый метод позволяет сократить потерю данных, оценки частот у этих видимых спутников близки к истинным значениям.

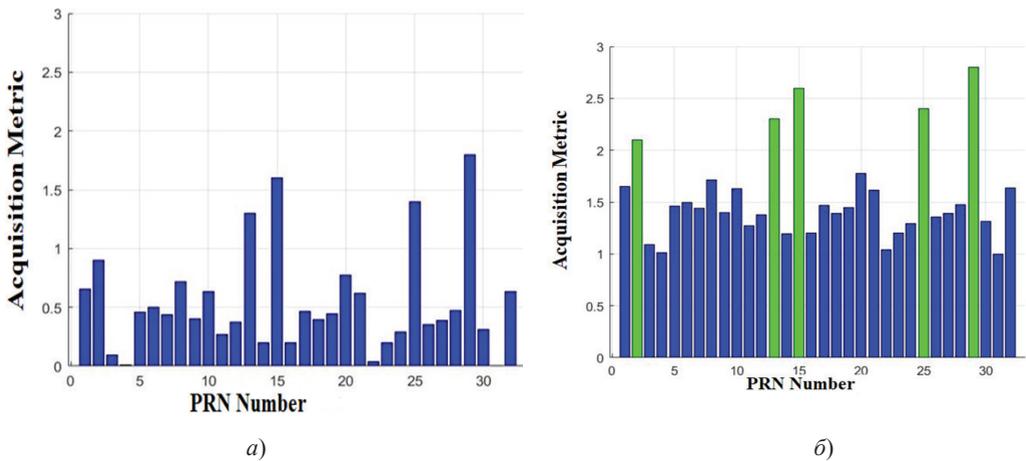


Рис. 7. Результаты обнаружения традиционным способом (а), с использованием предложенного метода вне помещения (б)

Швейцарская компания *u-blox* производит промышленные чипы GPS для бытового и промышленного применения. Большинство фирм, изготавливающих оборудование мобильной связи, используют эти микросхемы GPS для определения местоположения пользователя. Микросхемы GPS компании *u-blox* управляются или эксплуатируются с помощью приложения *u-center*, которое поддерживается ПК и мобильными устройствами на платформе Android. Посредством установленного в мобильные устройства приложения *u-center* осуществляется наблюдение за видимыми спутниками, как показано на рис. 8. Спутники GPS обозначены буквой «G», а спутники ГЛОНАСС – буквой «R».

Эффективность предложенного метода необходимо подтвердить путем проверки правильности обнаружения спутников. Для этого результаты обнаружения спутников

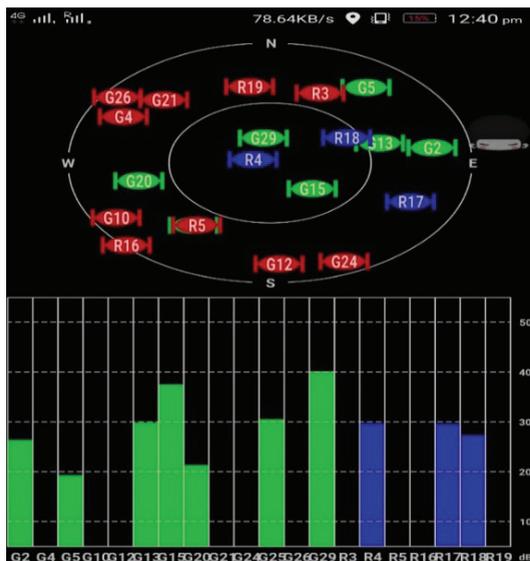


Рис. 8. Видимые спутники в приложении *u-centre*

с помощью предложенного метода сравнивались с соответствующими результатами приложения *u-center* на мобильном устройстве. Установлено не полное, но значительное совпадение между спутниками, обнаруженными в ПРП с помощью предложенного метода и приемника *u-blox*.

В табл. 3 представлена статистика пакетов данных, принятых и потерянных в процессе регистрации. В столбце 2 указаны даты и время суток. В столбце 3 показано общее количество принятых пакетов, а в столбце 4 – общее количество пропущенных пакетов в случае применения традиционного метода. Соответствующий процент потери данных показан в столбце 5. Столбцы 6, 7 и 8 представляют аналогичные данные при использовании предложенного метода.

Таблица 3

Сравнение потерь пакетов данных

№	Дата	Традиционный метод			Предложенный метод		
		Кол-во принятых пакетов	Кол-во пропущенных пакетов	Потеря данных (%)	Кол-во принятых пакетов	Кол-во пропущенных пакетов	Потеря данных (%)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	11.7.19 – Н	2499174261	319468437	12,78	2501379317	92761913	3,7
2	12.7.19 – У	7966283741	821426529	10,3	7705292265	248937990	3,2
	12.7.19 – П	7499049559	396277592	5,28	7608265971	177485299	2,3
	12.7.19 – Н	7266968529	627588967	8,6	7247319473	189928113	2,6
3	13.7.19 – У	5184927366	505517836	9,7	5307285917	259462748	4,8
	13.7.19 – Н	5277394129	622811758	11,8	5295662951	217293226	4,1
4	14.7.19 – У	4716927738	391573182	8,3	4699517322	196815716	4,18
	14.7.19 – П	4276268831	427791362	10	4302947725	118529647	2,7
	14.7.19 – Н	4972287326	614428471	12,3	4886942273	171952471	3,5
5	15.7.19 – Н	9247445279	518536229	5,6	9305597250	206571442	2,2

Примечание. В столбце 2: У – утро, Н – ночь, П – полдень.

Как видно из табл. 3, предложенный метод регистрации сырой радиочастотной информации продемонстрировал в 2-3 раза меньшую потерю данных по сравнению с традиционным и во всех случаях позволял обнаружить достаточное количество спутников для вычисления координат местоположения.

Заключение

В статье представлен эффективный метод регистрации сырой радиочастотной информации ППП GPS на жесткий диск ПК. Метод заключается в создании двух потоков для управления данными, полученными от спутников. Данные, полученные при использовании предложенного подхода в режиме реального времени, анализируются с помощью алгоритмов захвата сигнала. Предложенный метод регистрации данных более эффективен, чем традиционный подход, его результаты сопоставимы с результатами использования аппаратуры GPS компании *u-blox*.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Совету по научным и промышленным исследованиям (Индия) за финансовую поддержку этой работы. Мы также благодарим Комиссию по распределению университетских грантов (UGC, Индия) за помощь в приобретении экспериментальной установки в рамках крупномасштабного исследовательского проекта UGC (Файл № F.41-609/2012 (SR) от 16 июля 2012 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Oliveira, L.B., Zapella, M., and Hunt, R.,** Global Positioning System and GLObal NAVigation Satellite System constellations for better time synchronising reliability, *Proc. 2018 IEEE 14th International Conference on Developments in Power System Protection*, pp. 2051–3305.
2. **Capua, R., Bottaro, A.,** A GNSS software receiver for governmental applications, *Proc. 24th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS)*, Portland, OR, 2011, pp. 813–823.
3. **Brown, A., Tredway, R., and Taylor, R.,** GPS signal simulation using open source GPS receiver platform, *Proc. 21st Virginia Tech Symposium on Wireless Personal Communications*, Blacksburg, VA, 2011.
4. **Cristodaro, C., Dovis, F., Linty, N., and Romero, R.,** Design of a configurable monitoring station for scintillations by means of a GNSS software radio receiver, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2018, vol. 15, no. 3, pp. 325–329.
5. **Yadav, N., Prasad, D., Nath, V., and Kumar, M.,** An ultra-low power CMOS RF front-end-based LNA and mixer for GPS application, *Proc. International Conference on Microelectronics, Computing & Communication Systems. Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2018, vol. 453, pp. 375–385.
6. **Goswami, S., Kim, H., and Dawson, J.,** A frequency-agile RF frontend architecture for multi-band TDD applications, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 2014, vol. 49, no. 10, pp. 2127–2140.
7. **Cidronali, A.,** Local oscillator phase-dependent linearized mixer modeling based on large-signal vector measurements, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 2018, vol. 66, no. 1, pp. 81–90.
8. **Di, R., Peng, S., Taylor, S., and Morton, Y.,** A USRP-based GNSS and interference signal generator and playback system, *Proc. 2012 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium*, 2012. DOI: 10.1109/PLANS.2012.6236916.
9. **Liso Nicolas, M., Artamonov, I., and Kuerner, T.,** Low-cost USRP SDR receiver for the investigation of multipath influence on GNSS systems, *Proc. 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, 2013.
10. **Hennigar, A., Bevly, D.M.,** Error analysis of GPS signals from USRP using GPS receivers, *Proc. IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)*, 2014.
11. **Welch, T.B., Shearman, S.,** Teaching software defined radio using the USRP and Labview, *Proc. 2012 IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP 2012)*, pp. 2789–2792.
12. **Javidi, G., Sheybani, E.,** Application of digital signal processing in USRP satellite signal detection, *International Journal of Interdisciplinary Telecommunications and Networking*, 2017, vol. 9, no. 2.
13. **Ettus Research** USRP manuals, http://files.ettus.com/manual/page_usrp2.html.
14. **Juang, J.C., Tsai, C.T., and Chen, Y.H.,** Development of a PC-based software receiver for the reception of Beidou navigation satellite signals, *The Journal of Navigation*, 2013, no. 66, pp. 701–718.

15. Hynek, T., Halls, D., and Sykora, J., Hardware implementation of distributed learning algorithm for mapping selection for wireless physical layer network coding, *Proc. IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW)*, London, 2015.
 16. Sharma, N., Rawat, D.B., Bista, B.B., and Shetty, S., A testbed using USRP(TM) and LabView(R) for dynamic spectrum access in cognitive radio networks, *Proc. IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, Gwangju, 2015.
 17. Yang, B.Q., Huang, L., *Inside Radio: An Attack and Defense Guide*, Springer, 2018.
 18. RTL-SDR (RTL2832U) and software defined radio news and projects. <https://www.rtl-sdr.com/tag/bias-tee/>
 19. Mehrez, H., Barrak, R., Ghazel, A., Muller, M., and Abib, G., A reconfigurable multistandard GNSS receiver setup operating in L1/L2 bands, *Proc. 5th International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*, Marrakech, 2016.
 20. Chen, W.T., Ho, C.H., Spectrum monitoring with unmanned aerial vehicle carrying a receiver based on the core technology of cognitive radio – A software-defined radio design, *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 2017, vol. 5, no. 1, pp. 1–12.
 21. Borre, K., Akos, D.M., Bertelsen, N., Rinder, P., and Jensen, S.H., *A Software-Defined GPS and Galileo Receiver: A Single-Frequency Approach*, Basel: Birkhauser, 2007.
-

Kumar, B.P., Paidimarry, C.S. (Department of Electronics and Communication Engineering, University College of Engineering, Osmania University, Hyderabad, Telangana, India)
Improved Real Time GPS RF Data Capturing for GNSS SDR Applications, *Girokopiya i Navigatsiya*, 2020, vol. 28, no. 1 (108), pp. 42–53.

Abstract. Global Navigation Satellite System (GNSS) software-defined radio (SDR) is a programmable software receiver, primarily used to receive satellite data and provide user position. It is flexible and cost-effective compared to conventional satellite receivers. In GNSS SDR, recording the live raw data in real-time is a challenging task as large data are sent by the satellites at a very high speed. These data are further processed by the baseband algorithms which provide the user location. The accuracy of the tracked location depends on the precision of the data captured. Among the available hardware receivers, USRP RF front end kit provides flexibility. This paper proposes an efficient approach to capture the real-time GPS data by using the USRP N210 kit. If the receiver is not tuned with the exact parameters, the problems of data overflow and underflow occur. A novel data controlling queue thread method is introduced to overcome this problem. It is evident that the results obtained from our method are very close to those of u-blox GPS.

Key words: GPS; GPS-RF data collection; GNSS SDR; USRP.

Материал поступил 11.02.2019