



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Сборник научных трудов
XVII Международной конференции студентов, аспирантов
и молодых ученых

РОССИЯ, ТОМСК, 21 – 24 апреля 2020 г.

Том 7. IT - технологии и электроника

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

Abstracts
XVII International Conference of Students
and Young Scientists

RUSSIA, TOMSK, April 21 – 24, 2020

Volume 7. IT - technologies and Electronics

**СБОР ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ГЛОБАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНО ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ РАДИОСИСТЕМЫ**

М.М. Кануж

Научный руководитель: к.ф.-м.н. А.В. Клоков

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: motavamkanouj84@gmail.com

ACQUISITION OF GPS SIGNALS USING SOFTWARE DEFINED RADIO

M.M. Kanouj

Scientific Supervisor: Dr. A. V. Klokov

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: motavamkanouj84@gmail.com

***Abstract.** Software-defined radio (SDR) is a radio communication device where components that have been traditionally implemented in hardware (e.g. mixers, filters, amplifiers, etc.) are instead implemented by means of software on a personal computer or embedded system. A software radio can be programmed to acquire data from GPS satellites. This paper describes the implementation of GPS signals acquisition method performed by the fast Fourier transform (FFT). A set of non-real time raw GPS data on the L1 carrier was received by a SDR device. Post processing of received data was done using MATLAB.*

Введение. Спутники системы глобального позиционирования (GPS) непрерывно передают сигналы в направлении Земли. Эти сигналы имеют три составляющие [1]: 1) навигационные данные - это двоичные коды сообщений +1 и -1, передаваемые со скоростью 50 бит/с; 2) псевдослучайные последовательности (C/A коды), каждая из которых включает известную последовательность +1 и -1 (длиной 1023 бинарных цифр или чипов с периодом 1 мс), соответствует определённому спутнику и передаётся с высокой частотой (1,023 МГц). C/A код обеспечивает точное измерение дальности и позволяет спутникам передавать сигналы на одинаковой частоте с использованием принципа множественного доступа с кодовым разделением (МДКР); 3) несущая - это синусоидальный сигнал, частота которого $L1=1575,42$ МГц. Каждый приёмник системы GPS состоит из трёх частей: антенна, входной каскад и часть цифровой обработки. Устройство программно определяемой радиосистемы (SDR) заменяет входной каскад преобразующий радиочастотный сигнал в основную полосу путем удаления несущей и выполняет дискретизацию. После дискретизации, первая задача приёмника - это сбор данных. Целью сбора данных является идентификация всех видимых спутников. Если спутник виден, то из данных можно определить следующие свойства сигнала [2]: 1) грубая оценка принимаемой несущей частоты, поскольку существует неопределенность из-за эффекта Доплера; 2) грубая оценка фазы кода C/A приёмного сигнала, которая неизвестна без временной синхронизации со сгенерированным локальным C/A кодом. Эта статья описывает обработку GPS сигналов, выполняемую методом быстрого преобразования Фурье (БПФ). Набор необработанных данных на несущей L1 был получен устройством SDR. Обработка полученных данных проводилась в среде MATLAB.

Обработка данных в системе глобального позиционирования. После преобразования и дискретизации, приёмник GPS выполняет обработку данных, при которой происходит умножение приёмного сигнала $s[n]$ на копию несущей той же частоты. Затем умножение на копию C/A кода той же фазы и той же частоты $s[n - \tau]$, где τ – задержка, а затем интегрирование результата за один или несколько периодов кода для увеличения отношения сигнал - шум [3]. Этот процесс повторяется для разных фаз кода (τ) и разных несущих частот (f). Поскольку f и τ неизвестны, необходимо проверять различные комбинации, пока кодированный сигнал не будет обнаружен. Для неподвижной GPS аппаратуры, доплеровская частота находится в пределах ± 5 кГц около несущей [2]. Например, если время интегрирования 1 мс (что соответствует одному периоду кода), а шаг частоты 500 Гц (максимальная потеря составляет около 0,91 дБ [3]), то существует 21483 комбинации проверок ($1023 \times (1 + (2 \times 5000/500))$). Более того, этот процесс повторяется для каждого спутника. Это показывает сложность выполнения сбора и обработки данных, а также мотивирует на использование быстрых методов. Процесс обработки можно распараллеливать с использованием БПФ.

Алгоритм обработки данных с использованием БПФ. Если сбор данных из кодированного GPS сигнала может проводиться параллельно на уровне фаз кода, то вместо 21483 комбинаций следует выполнить только 21 комбинацию проверок ($1 + (2 \times 5000/500)$). Вместо умножения входного сигнала на C/A код с 1023 различными фазами, удобнее выполнять корреляцию между входным и сгенерированным C/A кодом. Корреляция может быть получена с использованием обратного БПФ (IFFT). На рис. 1 приведена структурная схема алгоритма обработки данных с использованием БПФ [2]. Поступающий сигнал умножается на локально сгенерированный несущий сигнал. Умножение на сгенерированный сигнал позволяет выделить I и Q квадратуры. Квадратуры I и Q объединяются для формирования комплексного сигнала $x(n) = I(n) + jQ(n)$. БПФ выполняется для сигнала $x(n)$ и для локально сгенерированного C/A кода, результат которого затем комплексно сопрягается, далее выполняется произведение. Результат умножения преобразуется во временную область с помощью обратного БПФ. Значения обратного БПФ представляют собой корреляцию между входным сигналом и сгенерированным C/A кодом. Если в результате корреляции возникает максимальное значение (пик), превышающее предопределённый порог, то временной указатель этого значения указывает фазу кода входного сигнала.

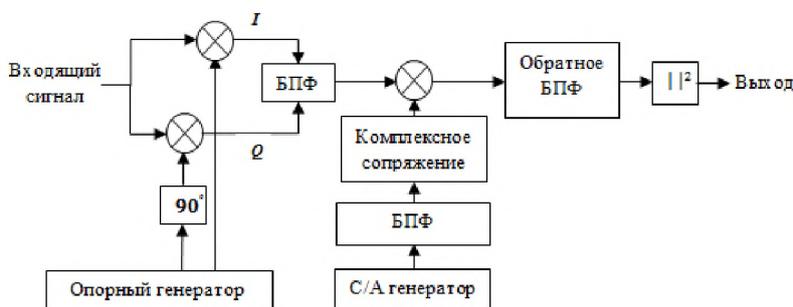


Рис. 1. Структурная схема алгоритма обработки данных с использованием БПФ

Результаты применения данного алгоритма. С использованием GPS антенны и устройства программно определяемой радиосистемы (модель MSI.SDR Panadapter), приведёнными на рис. 2, сигналы от спутников GPS системы на частоте L1 были приняты. В MATLAB был реализован алгоритм обработки данных. Мы рассматривали частоту дискретизации 5 МГц и шаг по частоте 200 Гц.

Это значит, что точность определения фазы кода составляет 100 нс ($0,5/(5 \text{ МГц})$), а точность определения сдвига Доплера несущей равняется половине шага по частоте, т.е. 100 Гц. Локальная несущая частота, и локальные C/A коды всех спутников системы GPS были генерированы. В качестве примера, сигналы от спутников № 29 и № 4 были обработаны. Рассматривая наш SDR, мы практически поставили порог для сравнения результатов. Этот порог равен 45. GPS-приемник в мобильном телефоне помог нам проверить наши результаты. Если данный порог превышен,



Рис. 2. GPS антенна и MSI.SDR Panadapter

то параметры сдвига Доплера и фазы кода считаются правильными. На рис. 3 приведен результат обработки данных спутников № 29 и № 4. Для спутника № 29 видно что, результат имеет максимум (значение 60,75) который превышает порог. Этот максимум соответствует сдвигу Доплера 750 Гц и фазе кода 764,2 чипа, которая соответствует задержке по времени 747 мкс ($764,2 \times (1 \text{ мс}/1023)$). Наконец, отношение сигнал - шум было оценено в 14,13 дБ. Но анализируя результат со спутника № 4, мы увидели, что он не имеет значение, которое превышает данный порог. Это приводит к выводу, что сигнал, полученный от этого спутника, очень слабый и не может быть обнаружен.

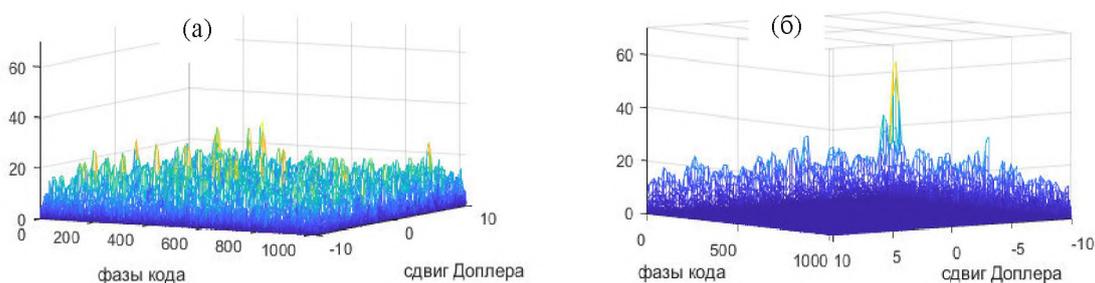


Рис. 3. Результат сбора и обработки данных: (а) спутник № 4, (б) спутник № 29

Заключение. В этой статье мы предложили использовать устройство SDR для получения реальных сигналов от спутников системы GPS. Мы выполнили обработку данных с использованием БПФ для корреляции периодических сигналов. Можно считать, что устройства SDR могут служить дешевой платформой для решения целого ряда интересных учебных задач в процессе изучения и исследования, связанных с приемом, передачей и цифровой обработкой сигналов в телекоммуникационных системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Elliott D. Kaplan, Understanding GPS Principles and Applications, 2nd ed, 2006, pp. 19–21.
2. Kai Borre, Dennis M.A., Nicolaj B., Peter R., Soren H.J., A software defined GPS and Galileo receiver, 2006, pp. 75–85.
3. F. van Diggelen, A-GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS, GNSS Technology and Applications Series, 2009, pp. 57–58.