

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА СИГНАЛОВ СРНС GPS

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Ст-т БГУИР
Микулич М.Ю.

Руководитель:
Ассист. Каленкович Е.Н.

Программно-определяемые радиосистемы (ПОР) являются актуальным направлением исследований в последние 15 лет. ПОР позволяют строить учебную базу и проводить исследовательскую работу различных радиосистем. Особенность программного приемника заключается в том, чтобы максимально упростить специфическую аппаратную часть приемника навигационных сигналов. При этом функции цифровой обработки сигналов могут возлагаться на универсальный процессор (GPP, DSP, RISC) или на другой вычислитель. Функции аппаратной радиочасти ограничиваются переносом сигнала на промежуточную или нулевую частоту, его фильтрацией и оцифровкой.

В работе была реализована обработка сигналов спутниковой радионавигационной системы (СРНС) GPS по сигналу стандартной точности, излучаемому на частоте $L1 = 1575,42$ МГц. Алгоритмы работы представляют собой набор процедур и функций, реализующих обработку предварительно записанного сигнала, в программном пакете Mathworks Matlab.

Основной задачей любого навигационного приемника является поиск сигналов видимых спутников. В СРНС GPS открытый сигнал стандартной точности (СТ-сигнал) диапазонов $L1$ и $L2$ имеет следующий вид:

$$s_i(t) = \sqrt{2 \cdot P_{i,I}} \cdot D_i(t) \cdot C_i(t) \cdot \cos(\omega_{L1} \cdot t + \theta) + \sqrt{2 \cdot P_{i,Q}} \cdot D_i(t) \cdot P_i(t) \cdot \sin(\omega_{L1} \cdot t + \theta)$$

где $s_i(t)$ – сигнал i -го спутника, t – системное время соответствующего спутника, $P_{i,I}$ – мощность синфазной составляющей i -го спутника GPS; $D_i(t)$ – данные i -го спутника GPS, $C_i(t)$ – C/A-код i -го спутника GPS, ω_{L1} – круговая частота спутника GPS, соответствующая частоте $L1$ учетом доплеровского сдвига; θ – начальный фазовый сдвиг; $P_{i,Q}$ – мощность квадратурной составляющей i -го спутника GPS, $P_i(t)$ – P-код i -го спутника GPS.

Необходимость поиска обусловлена тем, что для обработки сигнала (демодуляции и др.) спутника требуется, чтобы в приемнике генерировалась точная копия принимаемого сигнала. Для этого требуется определить неизвестную доплеровскую частоту F_d , принимаемого сигнала, и фазу дальномерного кода $C(t)$ (называемую также задержкой дальномерного кода).

С целью упрощения процедуры поиска, диапазоны поиска по задержке и по частоте делят на ячейки. Число ячеек поиска сигнала зависит от максимального доплеровского смещения частоты входного сигнала, как правило, ± 5 кГц для сигнала GPS. Значение элементарной ячейки поиска по частоте определяется полосой захвата схемы частотной автоподстройки и составляет величину ≈ 500 Гц. Поэтому число анализируемых ячеек по частоте равно 20. Значение анализируемой ячейки по задержке сигнала равно половине элементарного символа дальномерного кода, для системы GPS число ячеек равно $1023 \cdot 2 = 2046$. Соответственно, общее число ячеек равно $2046 \cdot 20 = 40920$. Накопление сигнала производится на интервале времени, равном периоду дальномерного кода – 1 мс ($T = 1$ мс). Поэтому, если один канал приёмника производит поиск одного сигнала спутника, то на это тратится время (в наихудшем случае), равное $40920 \cdot 1$ мс = 40,92 с.

Для обеспечения наглядной работы методов поиска навигационного сигнала и исследования их свойств были реализованы алгоритмы последовательного и параллельно-последовательного поиска. Схема последовательного поиска представлена на рисунке 1. Она состоит из блоков генератора тактовой частоты (ГТЧ), генератора псевдослучайно последовательности (ГПСЧ), генератора несущего сигнала (ГНС), управляемой линии задержки (УЛЗ), интегратора со сбросом (ИНТ) и порогового устройства (ПУ). В процессе поиска сигнала данным методом происходит последовательный перебор всех ячеек поиска по частоте Доплера и по фазе дальномерного кода.

Для сокращения вычислительной нагрузки в программных приемниках используют схему поиска, представленную на рисунке 2. Отличительной особенностью данной схемы является то, что за один цикл вычислений происходит расчет сразу всех ячеек по фазе дальномерного кода, в отличие от схемы на рисунке 1, в которой за один цикл вычислений происходит расчет только одной ячейки по фазе дальномерного кода. Математической основой схемы, представленной на рисунке 2, является теорема о свертке. Таким образом для перебора всех ячеек поиска требуется провести вычисления по схеме, представленной на рисунке 2, для каждой ячейки поиска по частоте Доплера, т. е. 20 раз.

Для такого метода поиска при той же тактовой частоте, учитывая две операции БПФ и одну ОБПФ (БПФ/ОБПФ требует порядка $N/2 \cdot \log_2(N)$ операций) с операцией комплексного сопряжения выигрыш данной схемы по числу операций умножения равен в 37 раз, а выигрыш по числу операций сложения: в 56 раз [1]. Также для уменьшения количества вычислительных операций и времени поиска применяется сужение зоны

поиска сигнала. Для сужения зоны поиска сигнала может использоваться дополнительная априорная информация о состоянии всех объектов СРНС, записанная в память приёмника (режим так называемого горячего старта). Это информация о параметрах движения спутника (эфемеридная информация), поэтому перед поиском сигнала может быть вычислено приблизительное значение доплеровского сдвига частоты и фазы кода, что существенно уменьшает число анализируемых ячеек по задержке и частоте. Так же может использоваться учет предполагаемых спутников, находящихся над линией горизонта, в предполагаемой точке, координаты которой рассчитаны на основе данных полученных от других инерциальных систем, что позволяет уменьшить количество каналов обработки сигнала. Сужение зоны поиска так же может проводиться двухэтапным анализом всей области неопределенности, когда на первом этапе анализа всех ячеек используется более низкий порог обнаружения. Это позволяет выявить ячейки с высокой вероятностью нахождения сигнала в них.

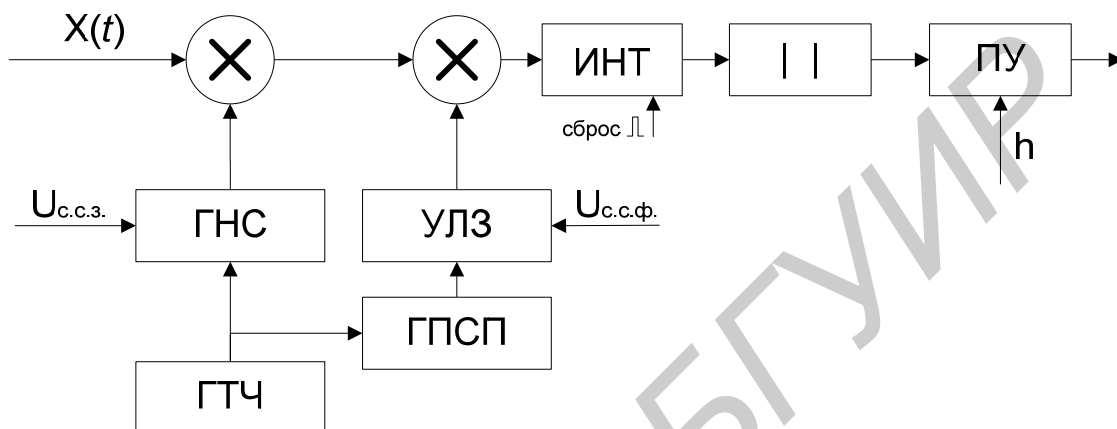


Рис 1 – Модель последовательного метода поиска сигнала

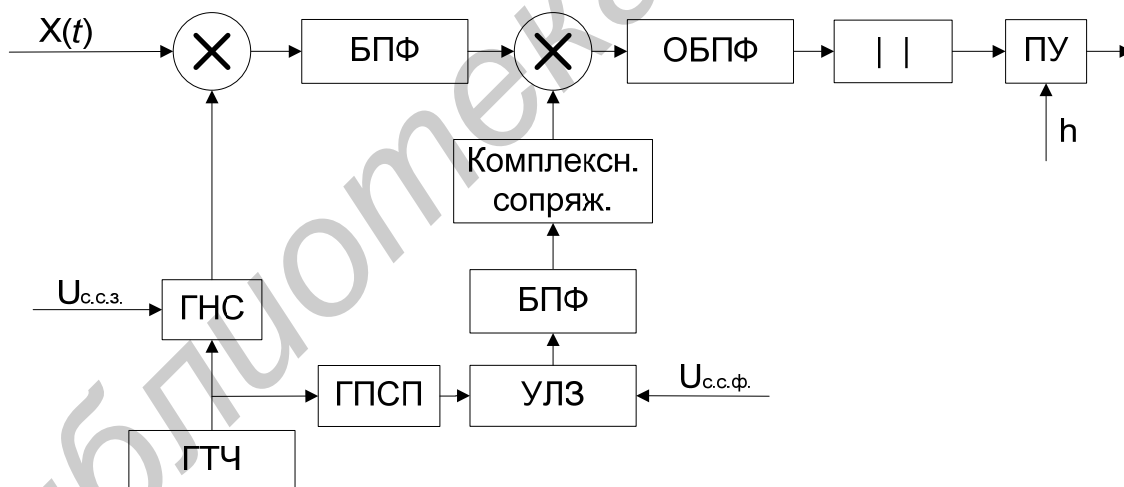


Рис 2 – Модель параллельного метода поиска по фазе(задержке) сигнала с использованием БПФ

Алгоритм порогового устройства, определяющего наличие сигнала в заданной ячейке, работает по следующему принципу. Во-первых, рассчитывается величина отклика, соответствующая каждой ячейке поиска. Во-вторых, осуществляется поиск максимального отклика. В-третьих, отыскивается второй максимум, отстоящий от ранее найденного максимума не менее, чем на пол символа ПСП. Далее рассчитывается отношение найденных максимумов и сравнивается с заданным порогом. Данный алгоритм поиска обладает тем преимуществом, что заданный порог не требуется пересчитывать для работы с разными записями сигналов, которые могут отличаться друг от друга частотой дискретизации, разрядностью данных и т. д.

Результат моделирования алгоритмов поиска навигационных сигналов в двумерном поле поиска по частоте и задержке в программном пакете Mathworks Matlab представлен на рисунке 3.

Вывод: Был проведен обзор используемых методов поиска сигнала в современной навигационно аппаратуре потребителя системы GPS и сравнительный анализ преимуществ и недостатков каждого из алгоритмов корреляционного поиска, а так же оценены преимущества использования программно-определяемых радиосистем. В развитии этого направления намечены тенденции к сокращению объема

требуемых вычислительных операций и уменьшений времени поиска за счет применения быстродействующих вычислителей и операций распараллеливания вычислений.

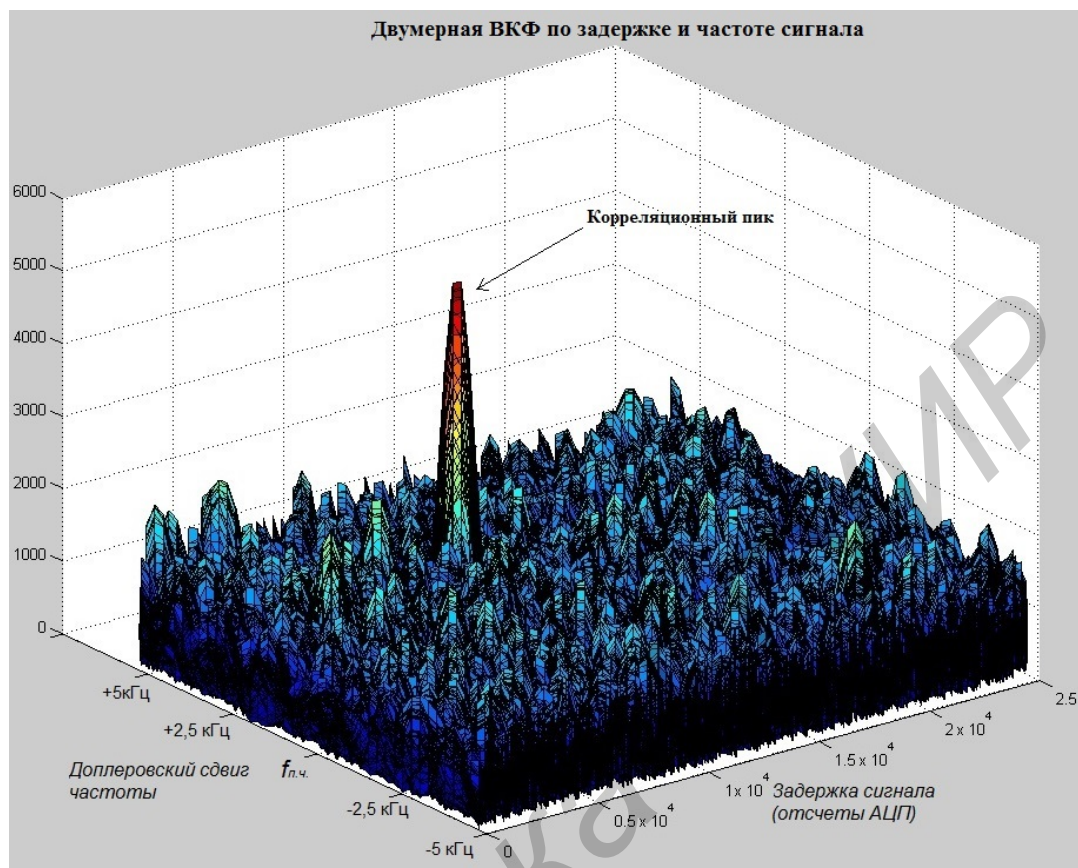


Рис 3 – Результат моделирования поиска сигнала частоте и задержке

Список использованных источников:

1. Гаврилов, А. И. Программный приемник ГЛОНАСС / А. И. Гаврилов // Инженерный вестник. – 2012. – № 09.
2. Поваляев, Е.А. Системы спутниковой навигации ГЛОНАСС и GPS. Часть 4. Структура коррелятора навигационного приёмника аппаратуры потребителя / Е. А. Поваляев, С. В. Хуторной // ChipNews. – 2002. – №3.
3. Конин, В.В. Спутниковые системы навигации/ Конин В.В., Л. А. Кониная // Лабораторный практикум на компьютере. — Киев, 2008. — 286с.
4. Перов, А.И. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования/ Под редакцией А.И. Перова, В.Н. Харисова//3-е издание – М.: "Радиотехника". – 2005. – 680с.