

## Лабораторная работа

## Исследование принципов работы приемника GPS NAVSTAR

**Цель работы.** Работа посвящена изучению основных алгоритмов обработки сигналов и навигационной информации в приемнике GPS NAVSTAR.

## 1. Исходные данные

Параметр	Обозначение	Значение	Размерность
Центральная частота записи сигнала	$f_0$	1575.42	МГц
Продолжительность записи	$T_{wr}$	40	с
Частота дискретизации сигнала	$F_T$	10	МГц
Разрядность представления отсчетов	$d$	16	бит
Тип представления цифрового сигнала		Комплексный	
Оборудование записи		USRP N210	

## 2. Предварительное задание

1. Рассчитать значение мощности теплового шума в полосе навигационного сигнала  $P_{ш} = kT_0\Delta F$ , где  $k=1.38E-23$  – постоянная Больцмана,  $T_0=300K$  – шумовая температура,  $\Delta F$  - ширина спектра C/A кода.
2. Рассчитать недостающие параметры энергетического потенциала системы GPS (таблица): суммарные потери при распространении электромагнитной волны (ЭМВ) в диапазоне L1 (1575МГц), эффективную излучаемую мощность радиосигнала навигационного космического аппарата (НКА), мощность радиосигнала в точке приема. При расчете потерь ЭМВ в безвоздушном пространстве достаточно воспользоваться условием LOS:

$$L = \frac{\lambda^2}{(4\pi r)^2}.$$

Рассчитанные значения привести в натуральных и логарифмических единицах.

Таблица. Энергетический потенциал линии связи GPS

Параметр	GPS L1 C/A-код
Мощность передатчика НКА	В соответствии с заданием
Потери в полосе частот АФУ, дБ	-1,25
Коэффициент усиления антенны НКА, дБ	13,5
Эффективная излучаемая мощность радиосигнала, дБВт	Требуется рассчитать
Потери в атмосфере и при поляризации, дБ	-2,0
Суммарные потери при распространении сигнала НКА, дБ	Требуется рассчитать
Уровень сигнала на входе приемника GPS, дБм	Требуется рассчитать
Требуемый выигрыш в отношении С/Ш (рассчитывается для условия надежной регистрации дальномерного сигнала на выходе согласованного фильтра с вероятностью ошибки $P=10^{-3}$ , BPSK)	Требуется рассчитать

### 3. Порядок выполнения работы

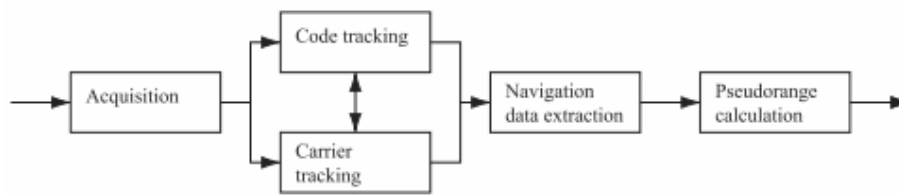


Рис.1. Основные функциональные модули изучаемого приемника

#### 1. Исследование характеристик цифровой записи сигнала.

1.1. Перейти в рабочий каталог лабораторной работы и открыть в среде Matlab файл *InitSet\_lab.m*. Эта функция предназначена для инициализации основных параметров приемника. Параметры приемника записываются в структуру *settings*, которую будут использовать все функциональные модули приемника. Внимательно ознакомиться с назначением всех параметров структуры *settings*. В процессе ознакомления с параметрами приемника требуется скорректировать путь к рабочему каталогу проекта, строка 13 `addpath(genpath('N:\Исследования\Проекты\GPS\GPS\Лабораторная работа'))`, и значение переменной *settings.fileName*, связанной с наименованием обрабатываемого файла записи сигнала. Имя файла задается исходя из имеющейся на рабочем месте записи сигнала – `gps_Xa.cfile`, где X – порядковый номер файла.

1.2. Открыть в среде Matlab файл *ShowData\_lab.m*. Эта функция предназначена для отображения части записанного сигнала и для иллюстрации спектра мощности.

1.2.1. Поставить точки останова исполнения функции на строке 10 (`settings=initSet_lab()`) и на последней строке с номером 95. Запустив выполнение функции, ознакомиться с назначением команд и в пошаговом режиме просмотреть результат их выполнения. Пронаблюдать временные диаграммы сигнала и его спектр мощности. Зафиксировать параметры анализируемого участка сигнала.

1.2.2. Пронаблюдать отсчеты цифрового сигнала. Для этого, выбрав одну из временных диаграмм, перейти в режим *Plotting Tools* и, выделив диаграмму, установить опцию отображения маркеров (к примеру, вида «o»).

1.2.3. При достижении второй контрольной точки (строка 95) перейти в командное окно среды Matlab. В ней потребуется самостоятельно построить спектр анализируемого участка сигнала.

Для выполнения задания достаточно выполнить следующие операции

1. `sp=10*log10(abs(fft(data)));`
2. `figure(1)`
3. `plot(sp)`

Пронаблюдать спектр сигнала. Сравнить с полученным спектром мощности п.1.1.1, сделать выводы.

1.2.4. Завершить выполнение функции *ShowData\_lab*.

#### 1.3. Исследование алгоритма поиска навигационных сигналов НКА.

1.3.1. Открыть в среде Matlab файл *acquisition\_lab.m*. Эта функция предназначена для поиска в записанном сигнале НКА с определенным номером. Внимательно познакомиться с назначением функции, приведенном в виде комментариев в области заголовка функции.

1.3.2. Перейти в командное окно среды Matlab. Задав в качестве единственного аргумента функции произвольный номер НКА (от 1 до 32), пронаблюдать результат ее запуска. Для каждого значения доплеровского смещения функцией строятся две

диаграммы – как результат корреляции искомого С/Ф кода с двумя смежными 1мс участками сигнала. Переход к следующему значению несущей частоты – нажатие на любую клавишу. Внимательно просматривая диаграммы, зафиксировать значение доплеровского канала, при котором будет обнаружен искомый С/А код (рис.1).

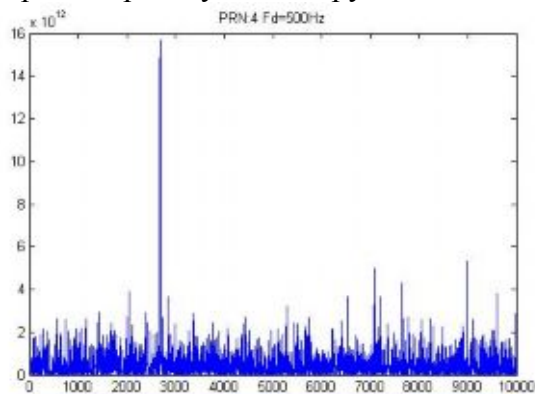


Рис.2

Зафиксировать значение несущей частоты, примерное начало С/А кода (в единицах отсчетов) и максимальный уровень центрального пика и ближайшего по уровню побочного выброса. Отношение этих двух параметров является относительной оценкой уровня сигнала найденного НКА.

- 1.3.3. После перебора всех значений доплеровских частот функцией будет построена частотно-временная плоскость ВКФ – как семейство ВКФ, построенное для определенного значения доплеровского смещения частоты (рис.3). Закончить выполнение функции.

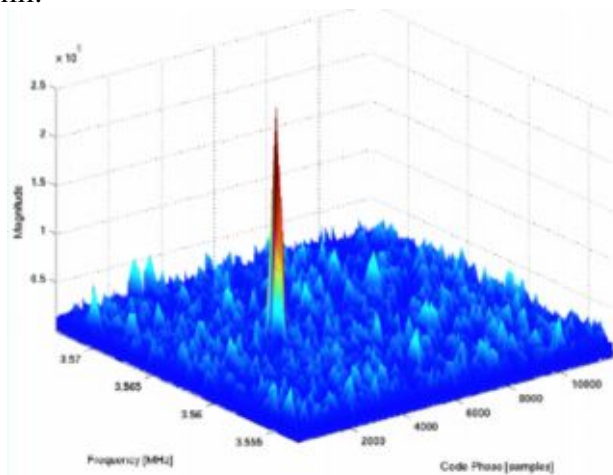


Рис.3.

- 1.3.4. Установить точки останова в строках 23, 102, 130 и 302 функции *acquisition\_lab*, а также в строке 32 файла *makeCaSignal\_lab.m*. Задав номер НКА, сигнал которого модуль *acquisition* обнаружил, осуществить пошаговое исполнение функции с внимательным чтением всех комментариев. Понимание процесса обнаружения приветствуется (рис.4). Зафиксировать и пояснить значение переменной *samplesPerCode*.

- 1.3.5. После формирования С/А кода в строке 32 файла *makeCaSignal\_lab.m* пронаблюдать полученный код, отметить его отличие от сигнала *caCodesSignal*, сформированного к строке 102 функции *acquisition\_lab*.

Для выполнения задания достаточно перейти в командное окно и выполнить следующие операции

1. `figure(1)`
2. `plot(caCodesSignal)`
3. `ylim([-2 2])`

1.3.6. Построить спектр сигнала `caCodesSignal`.

Для выполнения задания достаточно в командном окне выполнить следующие операции

1. `figure(2)`
2. `s = abs(fft(caCodesSignal))`
3. `plot(s)`

## 1.3.7. Пронаблюдать спектра сигнала на основе C/A кода, при частоте дискретизации в 2 раза меньшей (5МГц).

Для выполнения задания в командном окне требуется выполнить следующие операции

1. `figure(3)`
2. `s = abs(fft(caCodesSignal(1:2:length(caCodesSignal))))`
3. `plot(s)`

Повторить исследование для частоты дискретизации, в 4 раза меньшей (2.5МГц).

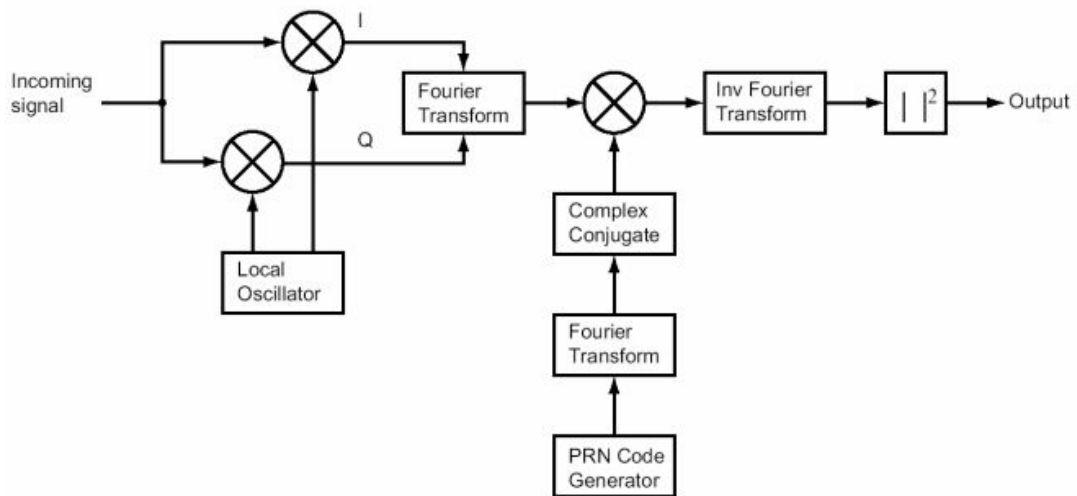


Рис.4.

1.3.8. В строке 302 провести исследование спектра `fftxc` сигнала `longCaCode`.

Для выполнения задания в командном окне требуется выполнить следующие операции

1. `figure(1)`
2. `plot(fftxc)`

Выбрав на диаграмме спектра режим увеличения и опцию «*Horizontal zoom*», увеличить размер изображения корреляционного пика. Зафиксировать изображение в удобном для наблюдения масштабе.

Для предстоящей защиты: построить изображение корреляционного пика текущего C/A кода в найденном доплеровском канале в режиме стандартной точности. Сравнить иллюстрации, сделать выводы.

1.3.9. Сняв все установленные точки останова и закомментировав строку 179 (`pause`) функции `acquisition_lab` последовательным перебором номеров НКА провести попытку обнаружения всех навигационных сигналов системы. Результат поиска зафиксировать в виде таблицы, указав порядковый номер измерения, номер найденного НКА, смещение кода, значение несущей частоты и уровень сигнала НКА.1.4. Исследование модуля слежения за C/A кодом (функция `tracking_lab.m`)

## 1.4.1. Внимательно ознакомиться с комментариями модуля слежения. Принцип слежения за временным положением кода схематично изображен на рис. 5 и рис.6. Слежение за центральной частотой сигнала выполняет цепь ФАПЧ, реализованная в модуле слежения в виде схемы Костаса.

#### 1.4.2. Воспользовавшись параметрами п.1.3.9 осуществить обработку навигационных сигналов обнаруженных НКА.

Для выполнения задания в командном окне для каждого НКА необходимо запустить на выполнение функцию *tracking\_lab.m* с соответствующими параметрами, к примеру:

```
tr1 = tracking_lab(4, 1087, 2683); - для первого найденного НКА с номером 4
tr2 = tracking_lab(17, -987, 1532); - для второго найденного НКА с номером 17
tr3 = tracking_lab(24, -2320, 3397); - для третьего найденного НКА с номером 24
```

и т.д.

Каждый результат обработки должен быть сохранен с уникальным именем

При выполнении слежения за кодом функцией строится сигнально-кодовое созвездие, соответствующее передаваемому навигационному сообщению. В случае сбоя в оценке несущей частоты сигнала наблюдается нарушение вид созвездия. По этой причине требуется остановить выполнение функции (ctrl+C), изменить значения параметров слежения за центральной частотой дальномерного сигнала (*settings.pllDampingRatio* и *settings.pllNoiseBandwidth*) и повторить процедуру сопровождения.

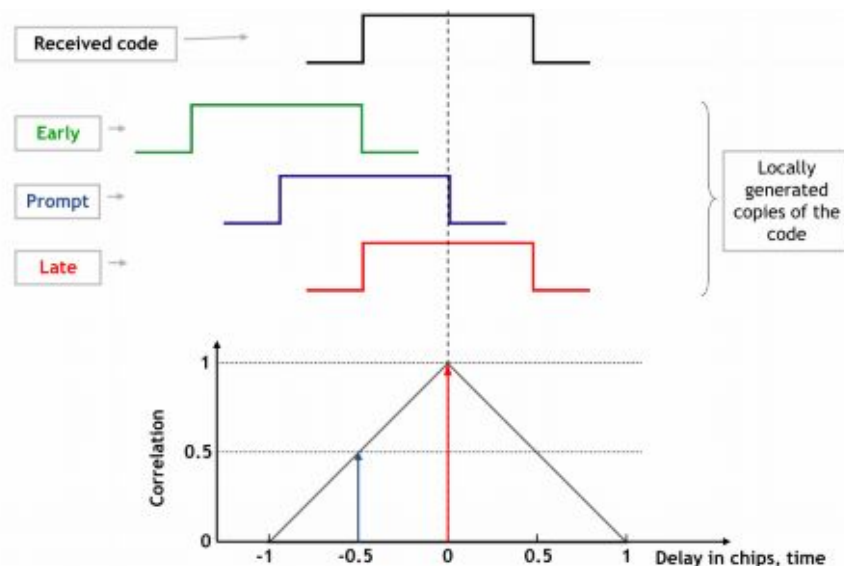


Рис.5.

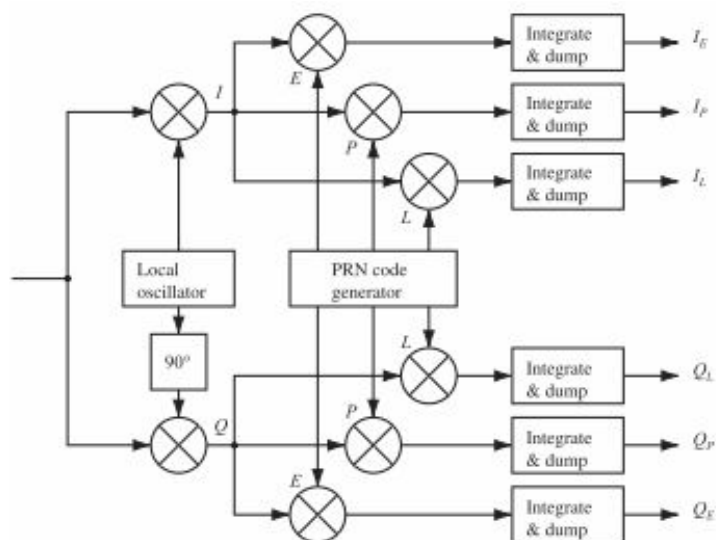


Рис.6

1.4.3. Построить на одном рисунке траекторные сигналы  $I_E$ ,  $I_P$ ,  $I_L$  для НКА с наибольшим уровнем сигнала. Сделать выводы.

Для совмещения на одном рисунке нескольких диаграмм перед использованием команды `plot` достаточно указать в командном окне директиву *hold on*. После построения диаграмм требуется вернуть обычный режим директивой *hold off*.

1.5. Исследование выполнения навигационных измерений.

1.5.1. Для определения навигационных параметров служит функция *Navigation\_lab\_s.m*. Внимательно познакомиться с комментариями функции.

1.5.2. Перед запуском модуля расчета навигационных параметров необходимо объединить все траекторные измерения в одну структуру.

Для объединения всех выполненных в п.1.4.2 траекторных измерений в одну структуру достаточно в командном окне выполнить операции:

`trs(1)=tr1;`

`trs(2)=tr2;`

`trs(3)=tr3;` и т.д. по всем измерениям п.1.4.2.

Структура *trs* будет содержать в своем составе все траекторные измерения и является входным параметром для функции *Navigation\_lab\_s*

1.5.3. Установить точки останова в строках 97 функции *ephemeris\_lab.m* и 56 функции *calculatePseudoranges.m*. Запустив на выполнение функцию *Navigation\_lab\_s.m* в пошаговом режиме тщательно исследовать способ получения эфимериса и алгоритм расчета псевдодальности.

Запуск функции *Navigation\_lab\_s* необходимо осуществлять с указанием всех входных и выходных параметров, к примеру:

`[navSolutions, eph, TOW] = Navigation_lab_s(trs);`

1.5.4. Рассчитать по системной метке времени точное время и дату, сообщаемые навигационной системой

Для решения этой задачи целесообразно воспользоваться функцией *datetime*, аргументом которой будет дата начала отсчета времени GPS:

`s = datetime('06 Jan 1980')`

Текущее время и дата GPS рассчитывается с помощью функции *datestr*:

`Datestr(s + Номер недели GPS*7 + TOW/60/60/24)`

Номер недели указывается в структуре *eph*, предназначенной для сохранения эфимериса.

1.5.5. Провести анализ структуры *navSolutions*: выделить динамику изменения псевдодальности по каждому наблюдаемому НКА, азимута и угла возвышения. Осуществить контроль значений геометрических факторов снижения точности.