

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.Ф.УТКИНА

КАФЕДРА ТОР

Дисциплина «Системы и сети связи с ПО»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2
«Исследование принципов работы приемника GPS NAVSTAR»

Бригада № 2

Выполнил: студент гр.019

Нектов А.Р.

Проверил: Бакке А.В.

Рязань, 2023 г.

Цель работы: Изучение основных алгоритмов обработки сигналов и навигационной информации в приемнике GPS NAVSTAR.

Исходные данные:

- $f_0 = 1575,42$ МГц - центральная частота записи сигнала;
 $T_{wt} = 40$ с - продолжительность записи;
 $F_T = 4$ МГц - частота дискретизации сигнала;
 $d = 16$ бит - разрядность представления отсчетов;

Тип представления цифрового сигнала – комплексный.

Предварительный расчет

Параметры:

- $P_a = 30$ Вт - мощность передатчика НКА;
 $L_f = -1,25$ дБ - потери в полосе частот АФУ;
 $K_a = 13,5$ дБ - коэффициент усиления антенны НКА;
 $L_a = -2$ дБ - потери в атмосфере и при поляризации;
 $r = 22\,000$ км - расстояние;

Вид модуляции – BPSK.

Расчет значения мощности теплового шума в полосе навигационного сигнала ($\Delta F = 1$ МГц):

$$P_{ш} = kT_0\Delta F = 1,38 * 10^{-23} * 290K * 10^6 \text{ Гц} = 4,002 * 10^{-15} \text{ Вт}$$

$$p_{ш} = 10 \lg \frac{4,002 * 10^{-15}}{10^{-3}} = -114 \text{ дБм}$$

Расчет недостающих параметров энергетического потенциала линии связи GPS:

$$L_{LOS} = 20 \lg \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right) = 20 \lg \left(\frac{\frac{299792458}{1575,42 * 10^6}}{4\pi * 22\,000\,000} \right) = -183,24 \text{ дБ}$$

Эффективная излучаемая мощность радиосигнала:

$$P_t = 30 + 10 \lg P_a + K_a = 30 + 10 \lg 30 + 13,5 = 58,27 \text{ дБм}$$

Суммарные потери при распространении сигнала НКА:

$$L_{\Sigma} = L_{LOS} + L_a + L_f = -183,24 - 2 - 1,25 = -186,49 \text{ дБ}$$

Уровень сигнала на входе приемника GPS:

$$P_t + L_{\Sigma} = 58,27 - 186,49 = -128,22 \text{ дБм}$$

ОСШ на входе приемника:

$$q = -128,22 - (-114) = -14,22 \text{ дБ}$$

Требуемое усиление аналоговой части приемника составляет 100 дБ.

На входе АЦП сигнал будет иметь мощность $-128,22 \text{ дБм} + 100 \text{ дБ} = -28,22 \text{ дБм}$, а тепловой шум $-114 \text{ дБм} + 2 \text{ дБ} + 100 \text{ дБ} = -12 \text{ дБм}$.

Результирующее ОСШ:

$$q_{\text{факт}} = -28,22 - (-12) = -16,22 \text{ дБ}$$

на $K_{\text{ш}} = 2 \text{ дБ}$ хуже ОСШ на входе приемника.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{q}{\log_2 2} = -16,22 \text{ дБ}$$

Необходимое ОСШ для условия надежной регистрации дальномерного сигнала на выходе согласованного фильтра с вероятностью ошибки $P_b = 10^{-3}$ определяется по зависимости $P_b = f(E_b/N_0)$ (рис.1) и равно $\tilde{q} \approx 6,8 \text{ дБ}$

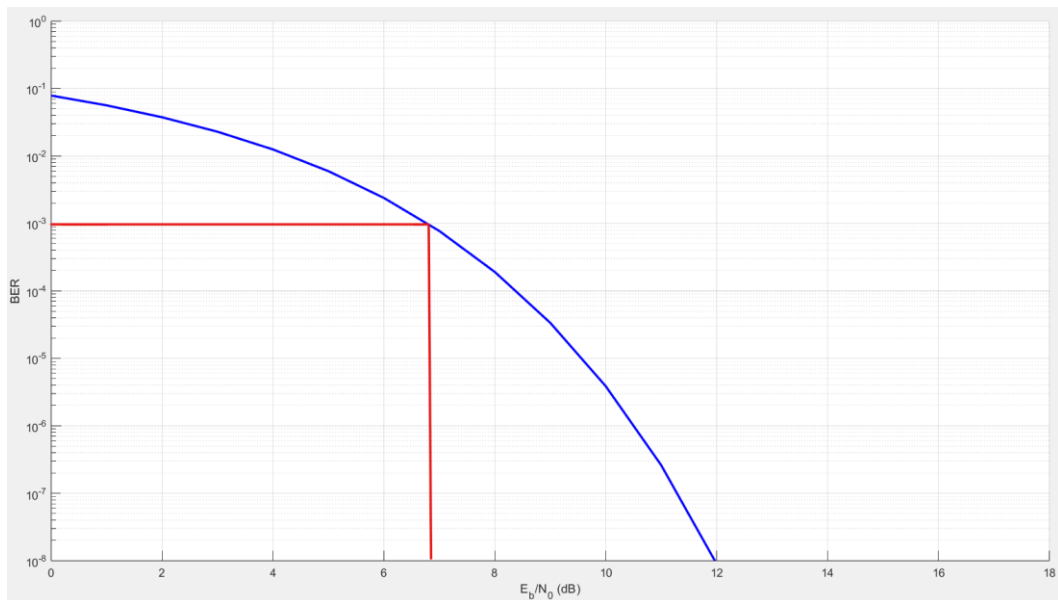


Рисунок 1. Зависимость P_b от E_b/N_0

Требуемый выигрыш в отношении С/Ш:

$$m = \tilde{q} - q_{\text{факт}} = 6,8 - (-16,22) \approx 23 \text{ дБ}$$

Следовательно, достаточная длительность С/А кода $10^{23/10} = 200$ чипов.

Выполнение лабораторной работы

В ходе выполнения работы исследуется радиосигнал, записанный в файл `gps_n2.cfile`

Пункты №1-3: Выполняется предварительная настройка MATLAB файлов, представляющих из себя макет лабораторной работы.

Пункт №4: Необходимо пронаблюдать временную диаграмму синфазной или квадратурной компонент произвольного участка записанного сигнала длительностью 50 мс и его спектр мощности.

Наблюдаемые графики отражены на рис. 2

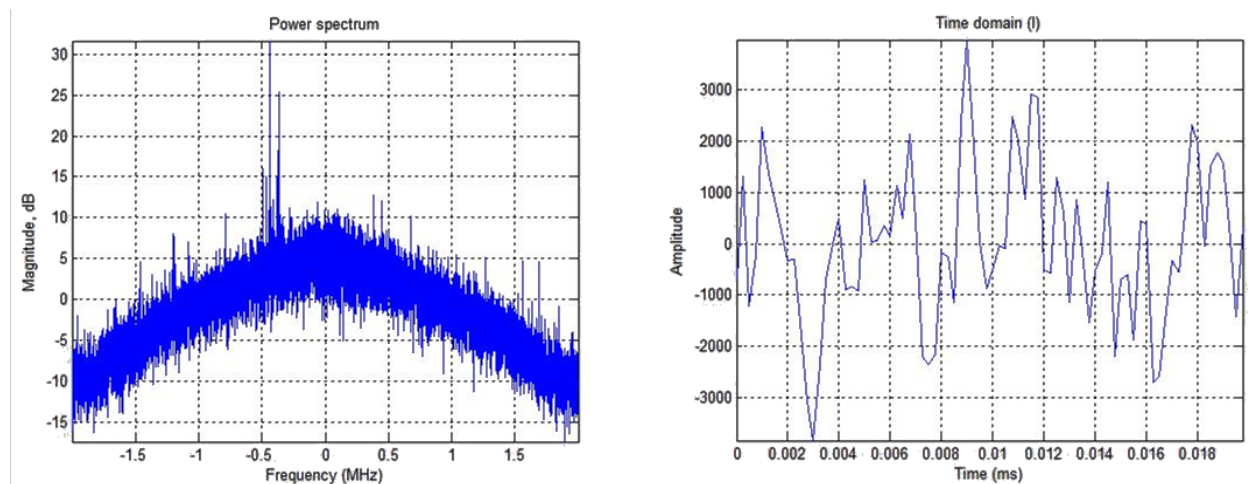


Рисунок 2. Иллюстрации спектра мощности (слева) и временной диаграммы синфазной компоненты сигнала (справа)

Пункт №5: Необходимо исследовать алгоритм поиска навигационных сигналов НКА.

Задача обнаружения сигналов состоит в поиске на частотно-временной плоскости C/A кодов всех представленных в принимаемом радиосигнале НКА. Обнаруженным считается C/A код, уровень которого после согласованного фильтра превышает заданный порог, и для которого осуществлена грубая оценка местоположения на временной шкале и доплеровское смещение частоты.

На рис.3 отображена блок-схема алгоритма поиска C/A-код.

В ходе выполнения данного пункта работы с помощью функции, аргументом которой является номер НКА, был выполнен поиск в записанном сигнале C/A кода. Критерием обнаружения является наличие ярко выраженного пика в выводимых диаграммах, отражающих результат корреляции искомого C/A кода, и частотно-временной плоскости ВКФ.

Первый обнаруженный сигнал НКА с номером 15. Параметры обнаруженного сигнала, результат обнаружения, а также частотно-временная плоскость ВКФ отражены на рис.4-6 соответственно.

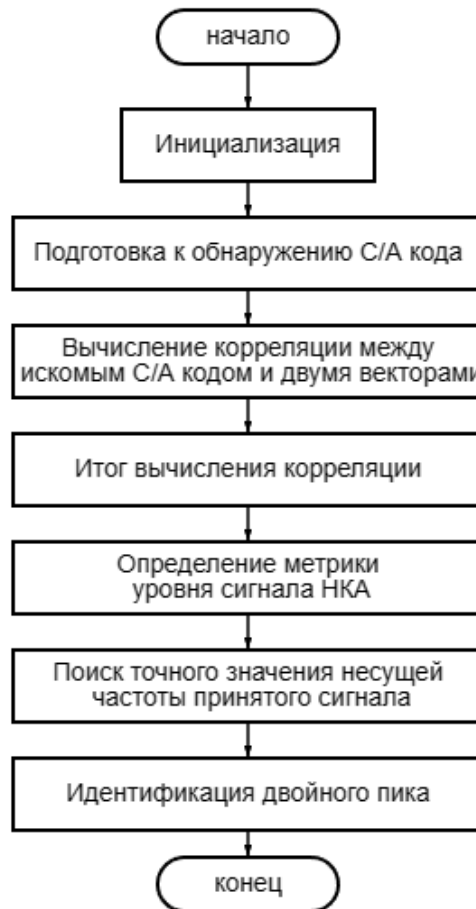


Рисунок 3. Блок-схема алгоритма поиска C/A-кода по исходному коду функции *acquisition_lab*

```
>> acquisition_lab(15)
HKA №15 - C/A код найден. Смещение кода: 1017. Доплеровское смещение:1548.7671. Уровень сигнала HKA:8.4626

ans =

    struct with fields:

        carrFreq: [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.5488e+03 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
        codePhase: [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1017 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
        peakMetric: [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 8.4626 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
```

Рисунок 4. Результат работы функции *acquisition_lab* при обнаружении сигнала НКА №15

Параметры обнаруженного сигнала:

Задержка сигнала - 1017 отсчетов;

Канал доплеровского смещения - 1500Гц;

Макс. уровень центрального пика - $2,677 \cdot 10^{12}$;

Ближайший по уровню побочный выброс - $0,319 \cdot 10^{12}$;

Относительная оценка уровня сигнала найденного C/A-кода:

$$\frac{2,677}{0,319} \approx 8,461$$

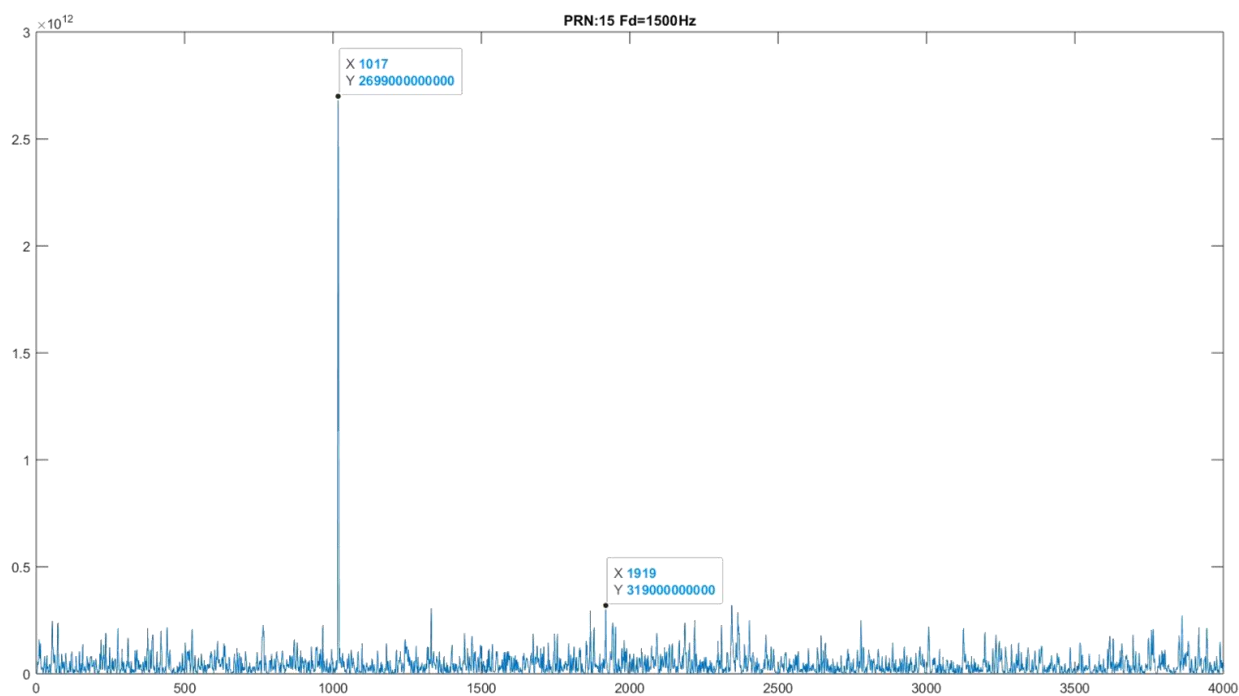


Рисунок 5. Диаграмма, отражающая результат корреляции искомого C/A кода

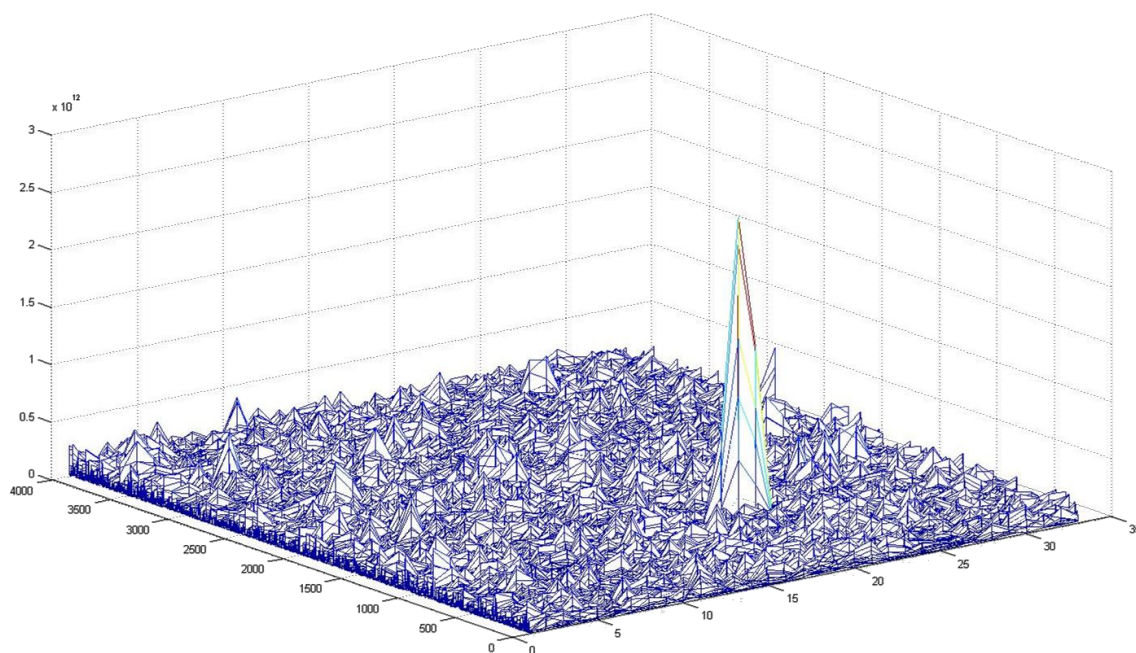


Рисунок 6. Частотно-временная плоскость ВКФ

Также были обнаружены сигналы еще 4х НКА, параметры которых приведены в Таблице 1.

Таблица 1.

№ НКА	Смещение кода	Доплеровское смещение, Гц	Канал доплер. Смещения, Гц	Относительный уровень сигнала
15	1017	1548,7671	1500	8,4626

18	1156	1731,8726	1500	4,7935
21	2627	-648,4985	-500	4,7209
26	3937	-259,3994	0	9,6974
29	666	-3364,563	-3500	5,1779

Навигационные сигналы НКА №15 и №26 имеют более высокий относительный уровень мощности по сравнению с НКА №18, №21 и №29.

Были построены графики взаимной корреляционной функции (ВКФ) двух С/А кодов (№15 и №18) и автокорреляционной функции (АКФ) одного из них (№15), иллюстрирующие свойство ортогональности исследуемых кодов. Графики отображены на рис.7.

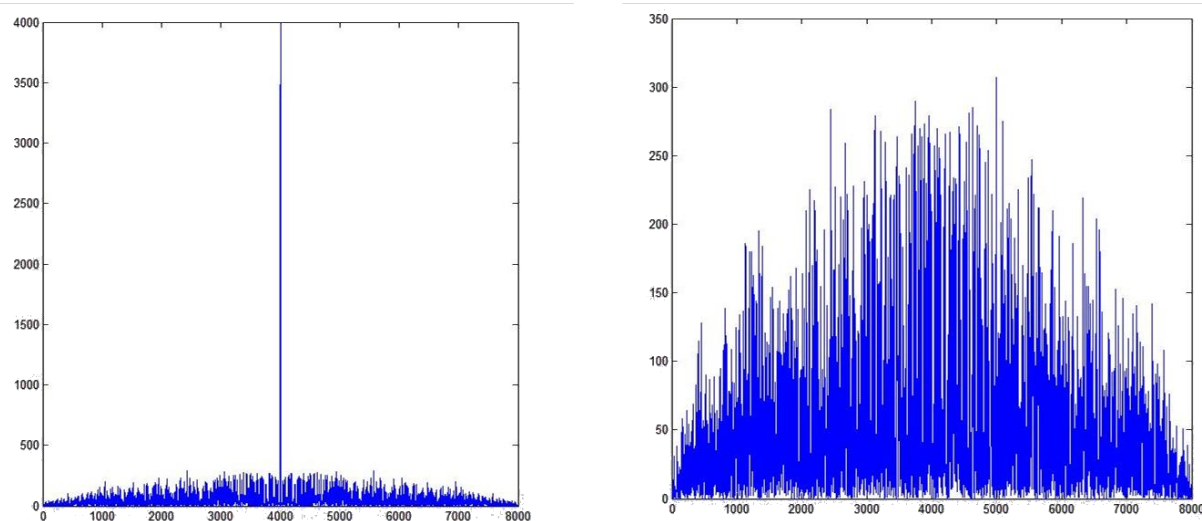


Рисунок 3. АКФ (слева) и ВКФ (справа)

Пункт №6: Необходимо исследовать модуль слежения за С/А кодом.

В процессе слежения за С/А кодом осуществляется демодуляция навигационного сообщения (НС), декодирование навигационных сообщений и вычисление псевдодальностей до НКА.

На рис.8 отображена блок-схема алгоритма слежения за С/А кодом.

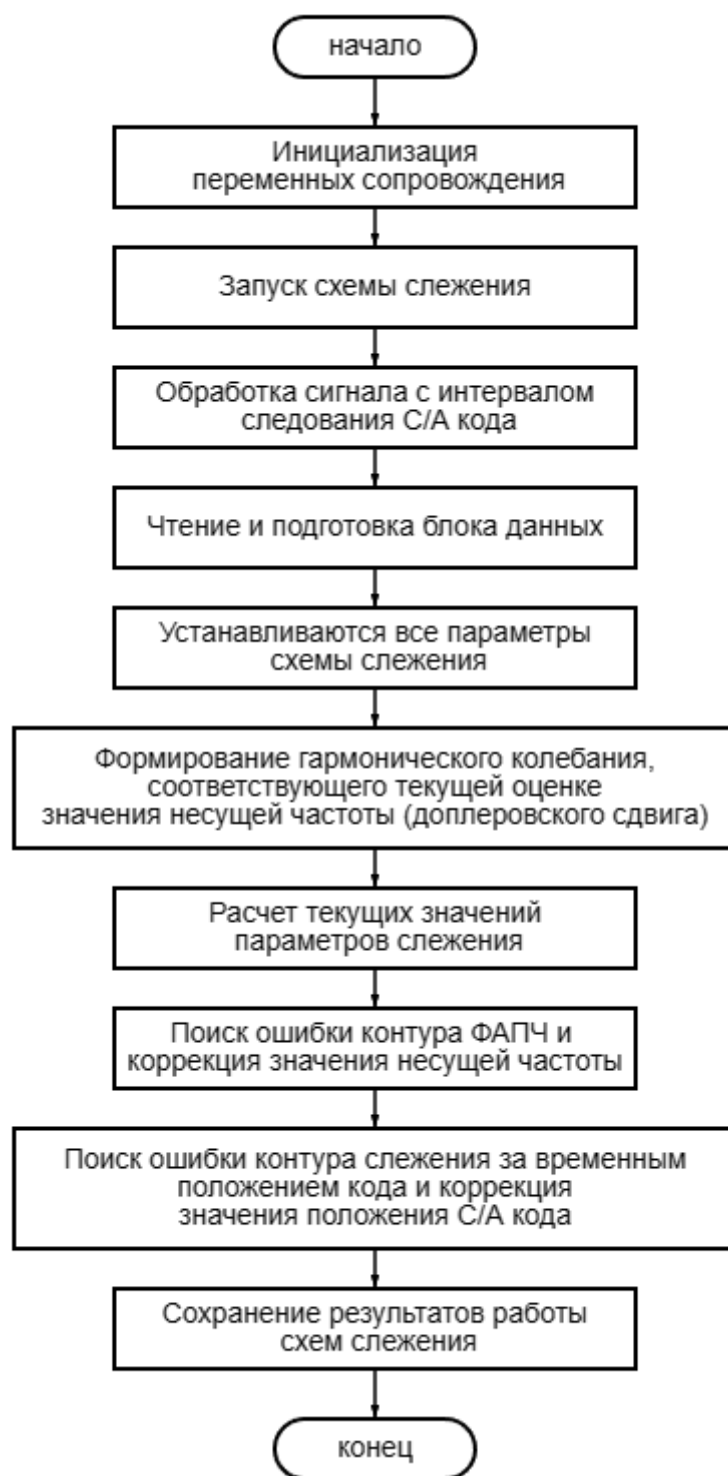


Рисунок 4. Блок-схема алгоритма функции *tracking_lab*

С целью последующего выполнения навигационных измерений была осуществлена обработка навигационных сигналов обнаруженных НКА, в ходе которой наблюдали сигнально-кодовые созвездия, соответствующие BPSK-сигналам на выходе согласованного фильтра, которые отражены на рис.9-13.

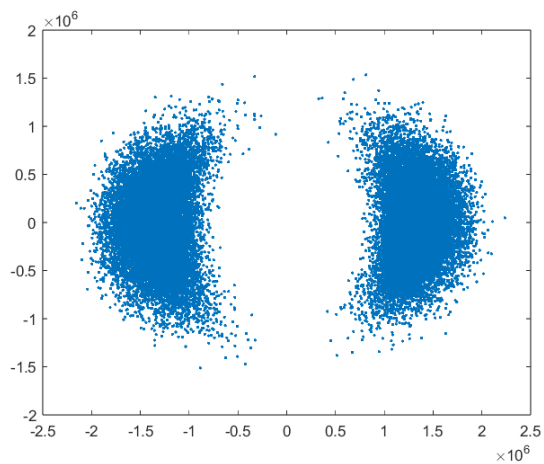


Рисунок 9. СКС сигнала НКА №15

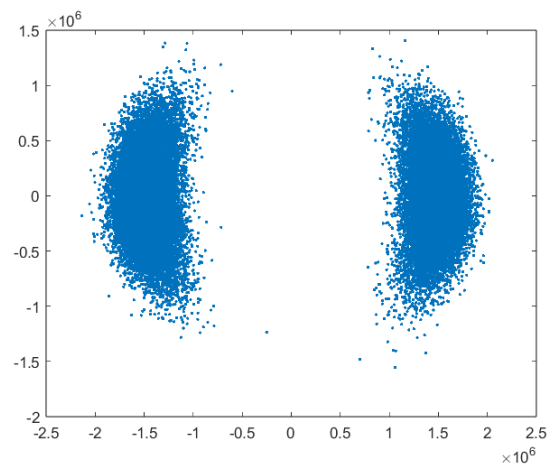


Рисунок 10. СКС сигнала НКА №18

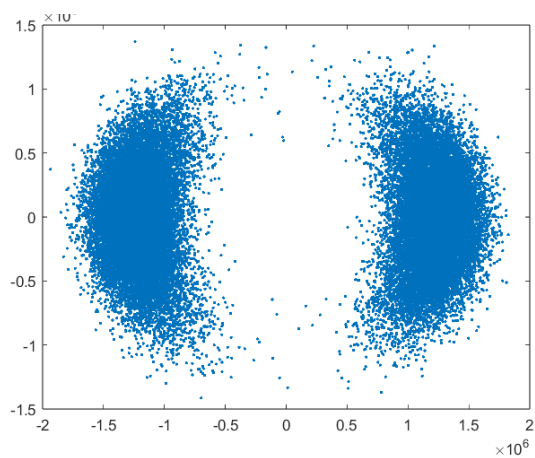


Рисунок 11. СКС сигнала НКА №21

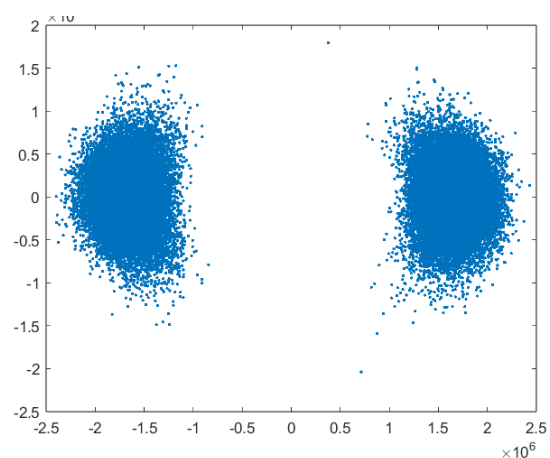


Рисунок 12. СКС сигнала НКА №26

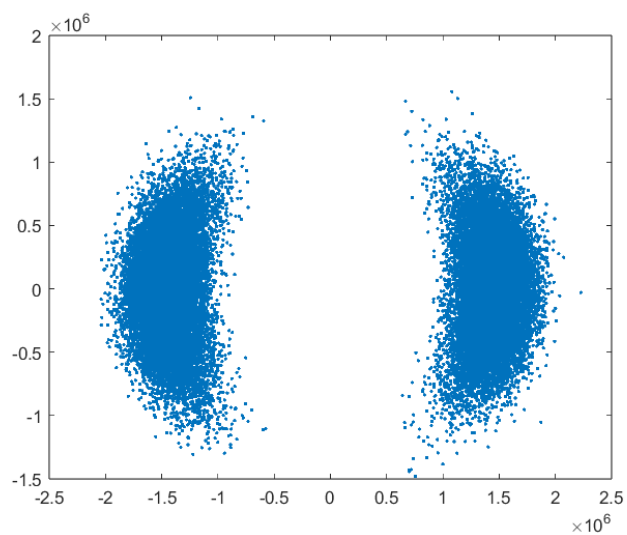


Рисунок 13. СКС сигнала НКА №29

Пронаблюдали на одном рисунке (рис.14) траекторные сигналы I_p для НКА с наилучшим (№26) и наихудшим (№21) уровнями сигнала.

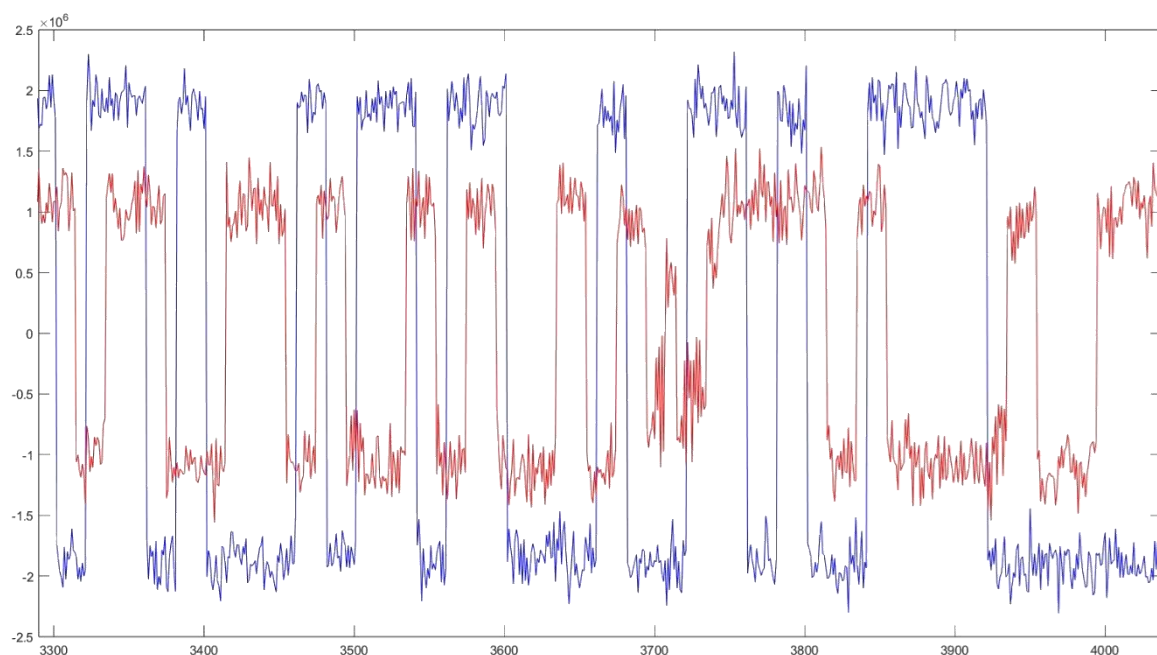


Рисунок 14. Иллюстрации траекторных сигналов

На рис.14 видно, что при приеме навигационного сообщения от НКА №21 могут возникать редкие ошибки при определении значения бита, что можно объяснить размазанностью СКС (рис.11) BPSK-сигнала от данного НКА на выходе СФ.

Пункт №7: Необходимо исследовать выполнение навигационных измерений.

Значение каждого бита НС получится усреднением траекторного сигнала в интервале длительностью 20 мс, что соответствует приему 20 C/A кодов.

После выделения 1500 битов, составляющих эфемерис (длительность 30с), определяется системное время GPS (Z-отсчет) и декодируются эфемеридные данные для текущего НКА. Эта информация используется в дальнейшем для вычисления положения НКА в момент передачи.

В ходе выполнения данного пункта были зафиксированы следующие параметры навигационного сообщения:

$weekNumber = 1704$ - номер недели GPS системы;

$TOW = 313596$ - количество 6-ти секундных интервалов, прошедших с начала недели GPS.

Также были зафиксированы значения временных задержек (массив *travelTime*) и псевдодальностей (массив *pseudoranges*) для каждого НКА:

traveltime = [75,555 69,5895 68,9585 76,286 80,4702] с;

pseudoranges = [22650819,16 20862407,26 20673238,21 22869967,45
24124374,04] м.

Формула расчета псевдодальности:

$$pseudoranges = traveltime * \left(\frac{299792458}{1000} \right)$$

Расстояние до наблюдаемых НКА находится в пределах от 20,6 до 24,1 тыс. км.

По системной метке времени было рассчитано точное время и дата, сообщаемые навигационной системой, результат отображен на рис.15.

```
>> s = datenum('06 Jan 1980')  
  
s =  
  
723186  
  
>> datestr(s + 1704*7 + 313596/10/60/24)  
  
ans =  
  
'23-Sep-2012 18:39:36'
```

Рисунок 15. Расчет точного времени и даты

Точное время и дата, сообщаемых навигационной системой:

23 сентября 2012г, 18ч 39м 36с.

На основании декодированных НС от обнаруженных НКА, а также измеренных псевдодальностей, приемником рассчитываются собственные геодезические координаты.

Результат проведенных вычислений собственных координат GPS-приемника, а также расположение наблюдаемых НКА, приведены на рис.16.

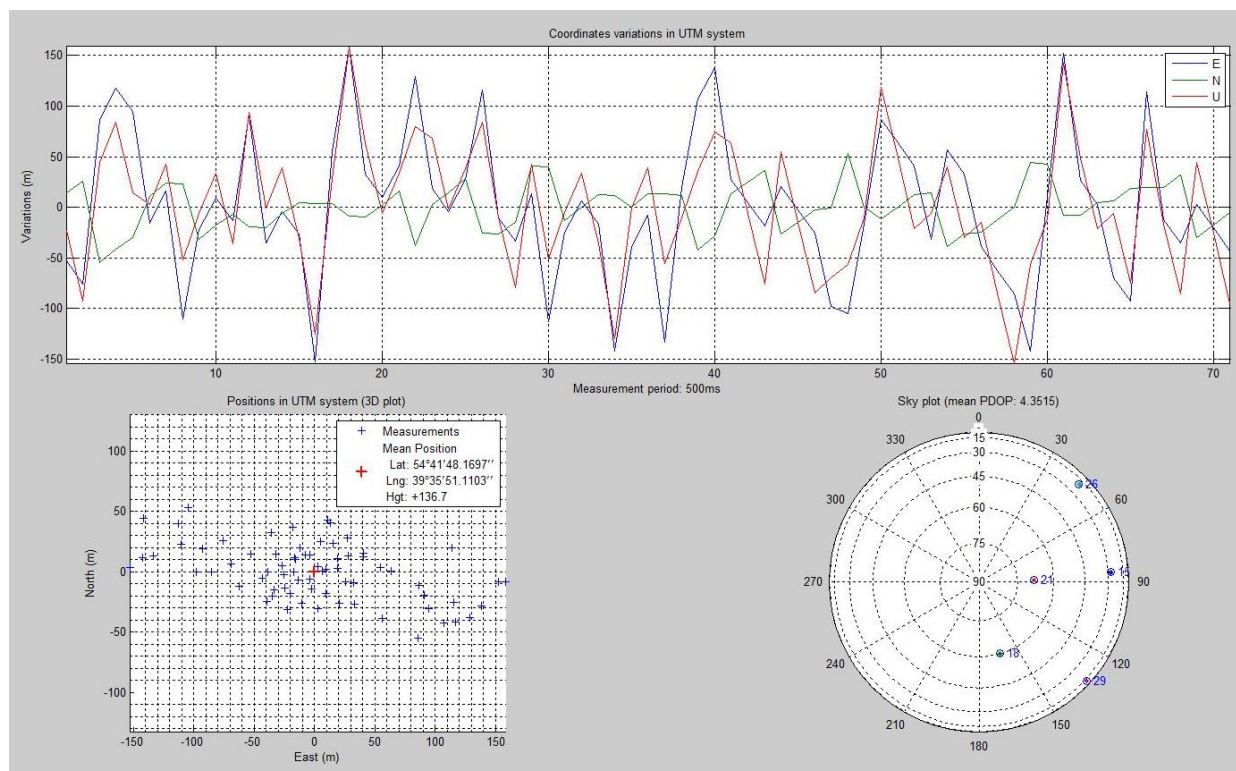


Рисунок 16. Результат проведенных вычислений

Выводы:

В ходе проведения лабораторной работы были изучены основные алгоритмы обработки сигналов и навигационной информации в приемнике GPS NAVSTAR.

В записанном сигнале были обнаружены C/A-коды 5ти НКА из 32х с наблюдением параметров C/A-кода для каждого обнаруженного НКА. Навигационные сигналы НКА №15 и №26 имеют более высокий относительный уровень мощности по сравнению с НКА №18, №21 и №29. Была построена ВКФ двух произвольных C/A кодов и АКФ одного из них для демонстрации ортогональности C/A-кодов.

Был исследован модуль слежения за C/A кодом, осуществлена обработка навигационных сигналов обнаруженных НКА с наблюдением СКС BPSK-сигналов на выходе СФ. Все СКС имеют 2 ярко выраженные области, соответствующие модуляции BPSK.

Было исследовано выполнение навигационных измерений: зафиксированы время задержки сигнала и псевдодальность для каждого обнаруженного НКА. Зафиксированы значения параметров *weekNumber*, *TOW*, по которым был произведен расчет точного времени и даты, сообщаемых навигационной системой. Были получены график изменения рассчитанных координат и карта с отображением обнаруженных НКА.