Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Механико - математический факультет

Кафедра прикладной механики и управления

Домашняя работа №3

Инерциальные навигационные системы

Выполнил: студент группы М – 1
Романов Андрей Владимирович

Преподаватель: д.ф.-м.н.,
Голован Андрей Андреевич

Москва, 2022

Содержание

1 Задача 1

Задание:

Штатная ориентация приборного трехгранника Ms БИНС при установке на полу объекта такова:

- ось Mx направлена по правому крылу;
- My - продольная ось;
- ось Mz - направлена вверх.

Исходный файл - IMU_4_8.txt , содержит колонки:

- t - время [сек], шкала времени - 400 гц;
- Ax, Ay, Az - показания акселерометров $\left[\mathrm{m/s^2}\right]$;
- Wx, Wy, Wz - показания ДУС [rad/s].

Корпус БИНС может быть перевернут! Поэтому для решения задачи выставки потребуется перенумерация осей и смена знака так, что оставался правый приборный трехгранник.

Координаты опорной точки:

$$\varphi = 55^\circ : 50' : 30.21'', \quad h = 164.78[\,\mathrm{m}], \quad g^{ref} = 9.8150996\left[\,\mathrm{m/s^2}\right].$$

Задание:

- определить интервал неподвижности.
- на этом интервале неподвижности определить акселерометр, ось чувствительности которого направлена вверх или вниз.
- при необходимости перенумеровать оси со сменой знака. Объяснить перенумерацию.
- определить углы курса, крена, тангажа и географической широты.
- представить графики накапливающихся математических ожиданий и СКО для каждого показания акселерометров и ДУС.
- оценить значения северного и вертикального дрейфов ДУС.

Решение:
Графики исходных данных

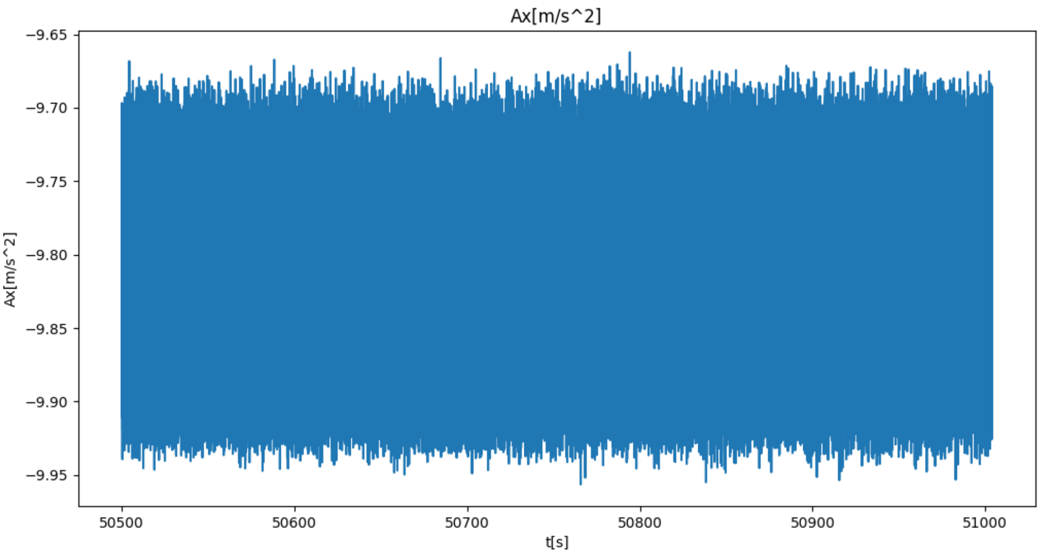

Рис. 1: Показания $Ax(m/s^2)$

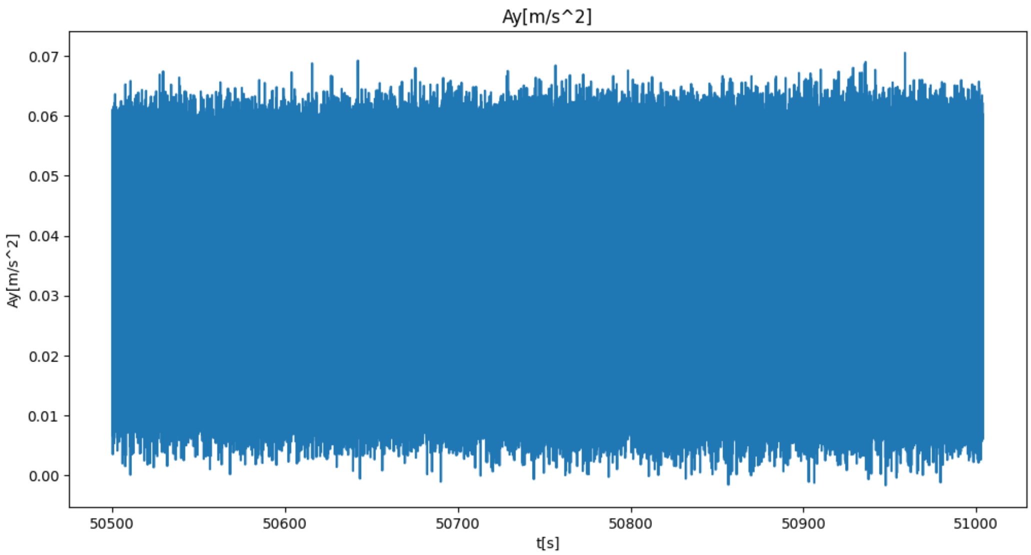

Рис. 2: Показания $Ay(m/s^2)$

Из графиков на рисунках (1)-(6) видно, что нет выбросов в данных, поэтому все время наблюдения это интервал неподвижности. Первый акселерометр Ax перевернут относительно стандартной ориентации Для того,

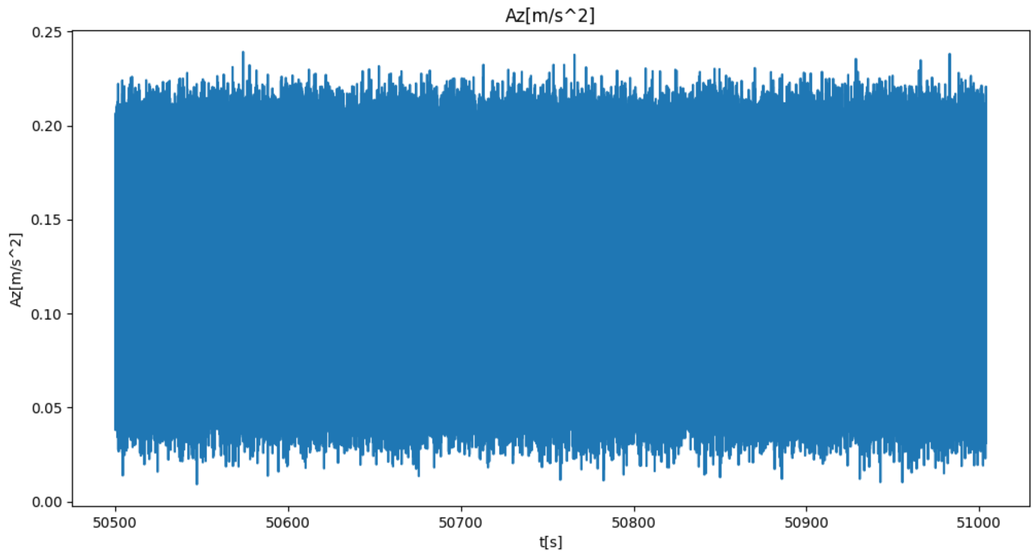

Рис. 3: Показания $Az(m/s^2)$

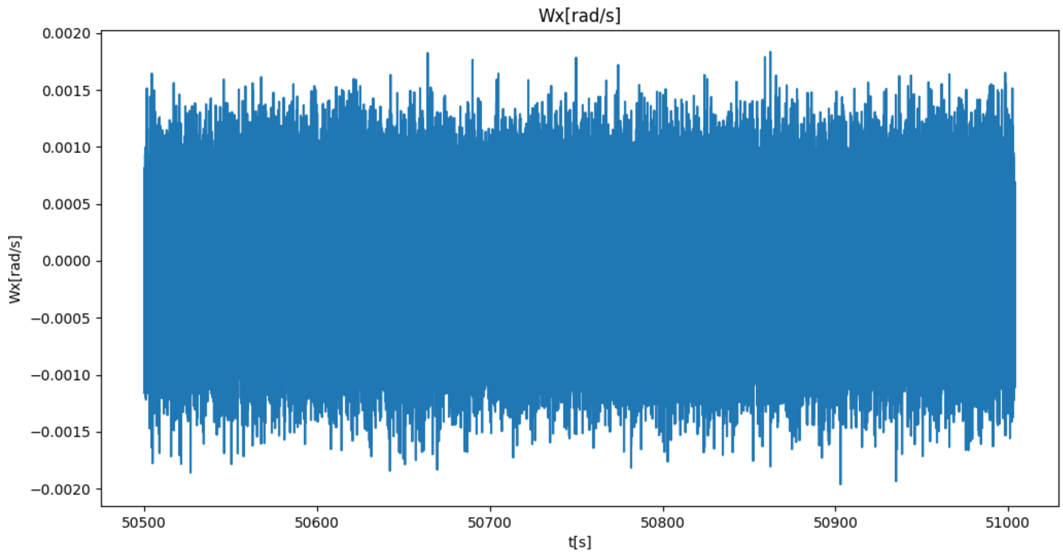

Рис. 4: Показания $Wx(rad/s)$

чтобы получить измерения в стандартной ориентации перенумеруем оси

$$\begin{cases} A_1 = -A_2, \\ A_2 = A_3, \\ A_3 = -A_1. \end{cases} \tag{1}$$

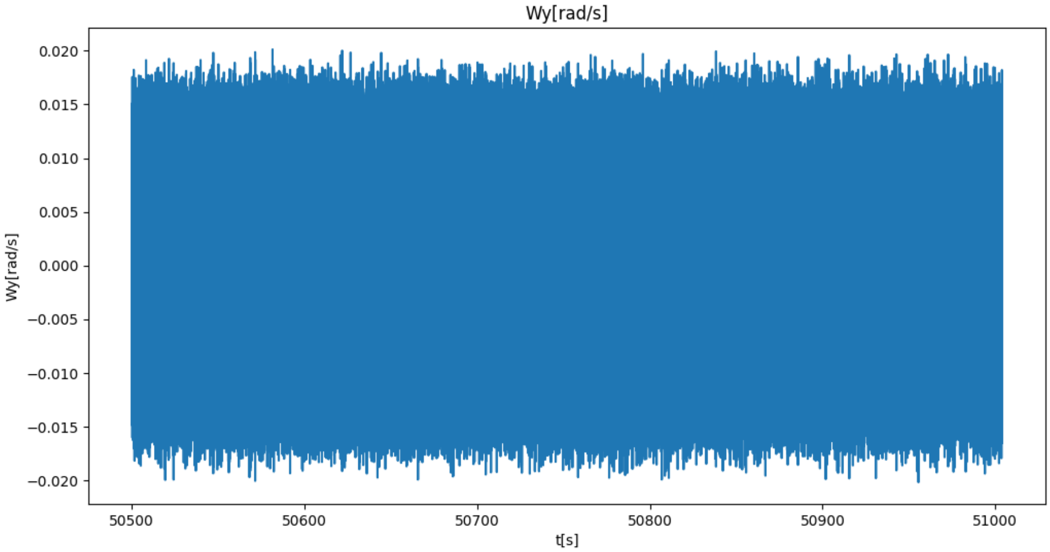

Рис. 5: Показания $Wy(rad/s)$

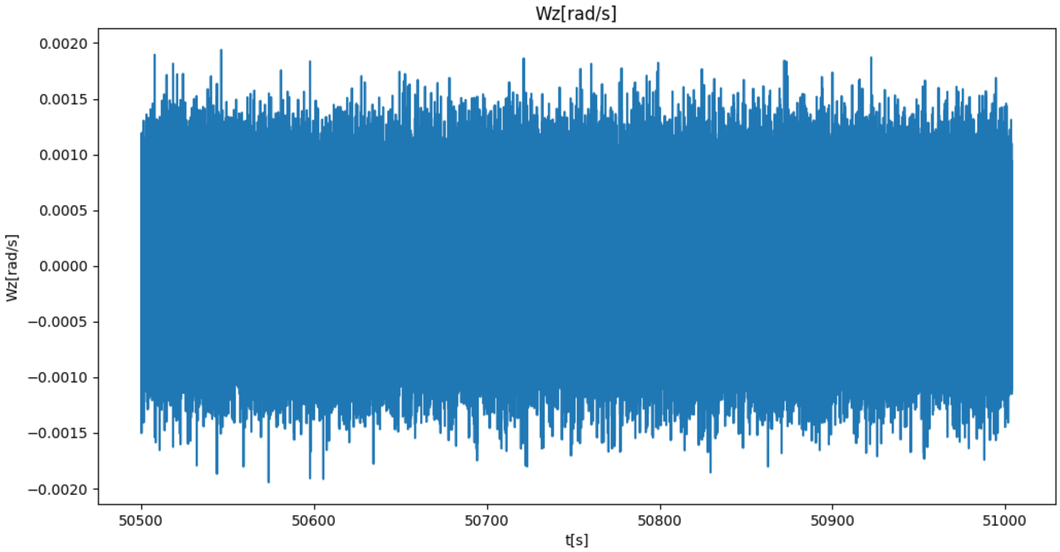

Рис. 6: Показания $Wz(rad/s)$

$$\begin{cases} W_1 = -W_2, \\ W_2 = W_3, \\ W_3 = -W_1. \end{cases} \tag{2}$$

В географических осях вектор нормальной удельной силы тяжести:

$$g_{x^0} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{pmatrix}$$

Матрица перехода от географического трехгранника к приборному

$$A_{sx^0} = \begin{pmatrix} \cos\psi\cos\gamma + \sin\psi\sin\vartheta\sin\gamma & -\sin\psi\cos\gamma + \cos\psi\sin\vartheta\sin\gamma & -\cos\vartheta\sin\gamma \\ \sin\psi\cos\vartheta & \cos\psi\cos\vartheta & \sin\vartheta \\ \cos\psi\sin\gamma - \sin\psi\sin\vartheta\cos\gamma & -\sin\psi\sin\gamma - \cos\psi\sin\vartheta\cos\gamma & \cos\vartheta\cos\gamma \end{pmatrix}$$

Сила тяжести в Ms равна

$$g_s = g\begin{pmatrix} \cos\vartheta\sin\gamma \\ -\sin\vartheta \\ -\cos\vartheta\cos\gamma \end{pmatrix}$$

оценку показаний акселерометров найдем как среднее арифметическое всех показаний

$$\tilde{f} = \frac{\sum_{k=1}^{N} f'(k)}{N} = \begin{pmatrix} -0.033938193479 \\ 0.123968901066 \\ 9.814114996043 \end{pmatrix}, \quad \widetilde{f} = \begin{pmatrix} \tilde{f}_1 \\ \widetilde{f}_2 \\ \widetilde{f}_3 \end{pmatrix} = g\begin{pmatrix} -\cos\vartheta\sin\gamma \\ \sin\vartheta \\ \cos\vartheta\cos\gamma \end{pmatrix}$$

Теперь можем вычислить углы крена и тангажа

$$\widetilde{\vartheta} = \operatorname{atan2}\left(\widetilde{f}_2, \sqrt{\widetilde{f}_1^2 + \widetilde{f}_3^2}\right) = 0.012630947075, \quad \widetilde{\gamma} = -\operatorname{atan2}\left(\widetilde{f}_1, \widetilde{f}_3\right) = 0.0034580864$$

Далее рассмотрим трёхгранник x определённый как:

$$Mx^0 \xrightarrow[3]{-\psi} Mx \xrightarrow[1]{\vartheta}\xrightarrow[2]{\gamma} Ms$$

$$A_{xs} = A_{xs}^{(1)}(-\vartheta)A_{xs}^{(2)}(-\gamma) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\vartheta) & \sin(-\vartheta) \\ 0 & -\sin(-\vartheta) & \cos(-\vartheta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(-\gamma) & 0 & -\sin(-\gamma) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(-\gamma) & 0 & \cos(-\gamma) \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\vartheta & -\sin\vartheta \\ 0 & \sin\vartheta & \cos\vartheta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\gamma & 0 & \sin\gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\gamma & 0 & \cos\gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\gamma & 0 & \sin\gamma \\ \sin\vartheta\sin\gamma & \cos\gamma & -\sin\vartheta\cos\gamma \\ -\cos\vartheta\sin\gamma & \sin\vartheta & \cos\vartheta\cos\gamma \end{pmatrix}$$

$$A_{xs} = \begin{pmatrix} 0.9999940208 & 0.0000000000 & 0.0034580796 \\ 0.0000436777 & 0.9999940208 & -0.0126305357 \\ -0.0034578037 & 0.0126306112 & 0.9999142520 \end{pmatrix}$$