

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет



АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

**Методичні рекомендації до виконання
розрахунково-графічної роботи
для здобувачів вищої освіти
ОС «Магістр» спеціальності
272 «Авіаційний транспорт»**



**VIVERE!
VINCERE!
CREARE!**

Київ 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Методичні рекомендації
до виконання розрахунково-графічної роботи
для здобувачів вищої освіти
ОС «Магістр» спеціальності 272
«Авіаційний транспорт»

Київ 2023

УДК 656.7.052.07(072)
А 224

Укладачі:

І. В. Остроумов — д-р техн. наук, с.н.с.;

Т. Ф. Шмельова — д-р техн. наук

Рецензент *М. Ю. Заліський* — д-р техн. наук, проф.,
професор кафедри телекомунікаційних та
радіоелектронних систем (Національний авіаційний
університет)

*Затверджено Науково-методично-редакційною радою Національ-
ного авіаційного університету (протокол № 7/23 від 18.09.2023 р.).*

Автоматизовані системи управління повітряним рухом:
А 224 Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи /
уклад.: І.В. Остроумов, Т.Ф. Шмельова. – К.: НАУ, 2023. – 28 с.

Містять теоретичні відомості та методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Автоматизовані системи управління повітряним рухом». Розкрито процес вторинної обробки даних системи спостереження з використанням різних траєкторних фільтрів та методів інтерполяції втрачених даних. Розглянуто підходи до візуалізації траєкторної інформації з використанням картографічних проєкцій.

Для здобувачів вищої освіти ОС «Магістр» спеціальності 272 «Авіаційний транспорт», які навчаються на кафедрі аеронавігаційних систем.

Зміст

Умовні позначення та скорочення.....	4
Вступ	5
1. Перелік необхідного обладнання та програмного забезпечення	6
2. Структура розрахунково-графічної роботи	6
3. Загальні теоретичні відомості	7
4. Порядок виконання розрахунково-графічної роботи..	9
4.1. Імпортування траєкторних даних.....	9
4.2. Візуалізація траєкторних даних.....	10
4.3. Фільтрація траєкторних даних.....	12
4.4. Інтерполяція траєкторних даних.....	18
5. Оцінювання	20
Контрольні запитання і завдання.....	20
Варіанти індивідуальних завдань.....	21
Список використаних джерел	23

Умовні позначення та скорочення

ADS-B – *Automatic Dependent Surveillance Broadcast* (автоматичне залежне спостереження у ширококомовному режимі)

ES – *Extended Squatter* (розширений режим передавання)

FMS – *Flight Management System* (Обчислювальна система літаководіння)

GNSS – *Global Navigation Satellite System* (Глобальна навігаційна супутникова система)

ICAO – *International Civil Aviation Organization*
(Міжнародна організація цивільної авіації)

LLA – *Latitude, Longitude, Altitude* (широта, довгота, висота геоцентрична система координат)

MATLAB – *Matrix laboratory* (пакет прикладних програм для числового аналізу)

MSL – *Mean sea level* (рівень світового океану)

SDR – *Software Defined Radio* (програмно-керований приймач)

ЛА – літальний апарат

ПЗ – програмне забезпечення

РГР – розрахунково-графічна робота

ВСТУП

Дисципліна «Автоматизовані системи управління повітряним рухом» ознайомлює здобувачів вищої освіти з принципами побудови автоматизованих систем управління повітряним рухом, інформаційних, технологічних процесів та керування для обслуговування повітряного руху в умовах інтеграції національних і міжнародних аеронавігаційних систем.

Розрахунково-графічна робота (РГР) є важливим типом індивідуальних завдань здобувача, що дозволяє отримати навички самостійного розв'язання певної задачі: візуалізації траєкторії руху літального апарата (ЛА) у програмному забезпеченні.

Мета РГР полягає у практичному використанні знань, набутих на лекційних заняттях для вирішення завдання вторинної обробки даних від наземних систем спостереження, зокрема інтерполяції втрачених даних та застосування алгоритмів траєкторного згладжування для підвищення точності вимірювань і візуалізації траєкторії руху ЛА у певному типі картографічної проєкції.

Розрахунково-графічна робота виконується здобувачем вищої освіти самостійно під час консультування викладача.

Відповідний варіант студент отримує від викладача особисто. За номером варіанта та таблицею обирається аеропорт вильоту, за яким визначається певний номер рейсу літака цивільної авіації. Здобувач шукає траєкторні дані на певну дату з використанням відкритих баз даних інформації автоматичного залежного спостереження (Flightradar24, Flightaware, AirNav). Далі розробляється програмне забезпечення для досягнення поставленої мети РГР з використанням завантажених траєкторних даних.

Розрахунково-графічна робота повинна бути надрукованою на одному боці аркушів білого паперу формату А4. Текст друкується шрифтом Times New Roman розміром 14 пт з полуторним міжрядковим інтервалом. Загальний обсяг звіту РГР становить до 20 аркушів.

На виконання РГР здобувачеві відводиться 10 год. самостійної роботи.

1. Перелік необхідного обладнання та програмного забезпечення

Для повного виконання поставлених завдань необхідне таке обладнання:

1. Обчислювальний пристрій. Бажано персональний комп'ютер з технічними характеристиками, що відповідадуть мінімальним вимогам запуску програмного забезпечення (ПЗ) MATLAB.

2. Програмне забезпечення MATLAB для персональних комп'ютерів. В окремих випадках дозволяється використання MATLAB Mobile чи MATLAB On-line.

3. Програмне забезпечення для перегляду вебсторінок. Доступ до траєкторних даних забезпечується через вебінтерфейс. Потрібні інтернет-ресурси містять:

- <https://flightaware.com>
- <https://skyvector.com>
- <http://www.ans.nau.edu.ua>
- <https://www.ostroumov.sciary.com>

4. Програмне забезпечення текстового редактора для формування звіту.

5. Звіт має бути зданий на перевірку в роздрукованому вигляді.

2. Структура розрахунково-графічної роботи

Звіт по РГР має бути оформлений відповідно до державного стандарту України ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення» та повинен містити такі структурні елементи:

- титульний аркуш;
- завдання;
- зміст;
- умовні позначення та скорочення;
- загальна характеристика рейсу;
- візуалізація траєкторних даних;
- фільтрація траєкторних даних;
- інтерполяція траєкторних даних;
- висновок;
- список посилань;

– додаток. Код програмного забезпечення.

Шаблон для виконання РГР у ПЗ MS WORD наведено за посиланням:

http://www.ans.nau.edu.ua/main/download/tempale_rgr.doc

3. Загальні теоретичні відомості

Наземні системи спостереження є важливою складовою аеронавігаційного забезпечення польотів. Основними системами спостереження, що застосовуються в цивільній авіації, є метеорологічні та вторинні радіолокатори, мультилатераційні системи локальної та широкої зони дії. Важливе місце відводиться траєкторним даним, отриманим за концепцією автоматичного залежного спостереження в ширококомовному режимі (ADS-B).

ADS-B базується на широкому використанні цифрових каналів зв'язку для обміну даними з усіма учасниками повітряного руху. Відповідно до цього кожен користувач повітряного простору повинен бути оснащений спеціальним бортовим обладнанням для передавання цифрових повідомлень у форматі ADS-B [1]. Літаковий відповідач режиму 1090 ES (Extended Squatter) є найпоширенішим бортовим обладнанням, що забезпечує функції ADS-B. Окрім того, літаковий відповідач режиму 1090 ES рекомендований Міжнародною організацією цивільної авіації (ICAO) для глобального впровадження [2]. Відповідно до ADS-B координати ЛА вимірюються на борту та поширюються через канал цифрового зв'язку в ширококомовному режимі на частоті 1.09 ГГц. Структурна схема взаємодії бортового обладнання ЛА з літаковим відповідачем наведена на рис. 1. Формат передавання даних ADS-B є відкритим [3] і забезпечує передавання семи різних типів даних, основними з яких є ідентифікація ЛА, місцеположення ЛА на землі чи у повітрі, швидкість ЛА та передавання критеріїв точності даних, що передаються [4, 5].

Постачальник аеронавігаційних послуг забезпечує розгортання наземної мережі програмно-керованих радіоприймачів (SDR – Software Defined Radio) для приймання та оброблення даних, що передаються в межах концепції ADS-B [6]. Окрім того, попит на аеронавігаційні дані спонукав до розгортання незалежних, комерційних мереж SDR, таких як FlightAware, FR24, airnav, radar

бох та ін. Також слід зазначити, що починаючи з 2016 р. Aireon розгорнула супутникове сузір'я низькоорбітальних SDR, що забезпечує глобальне покриття [7].

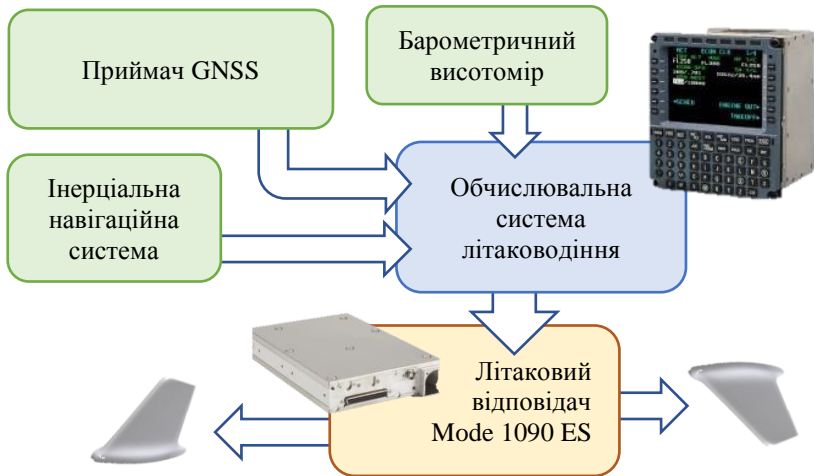


Рис. 1. Взаємодія бортового обладнання з літаковим відповідачем

Автоматизована обробка даних ідентифікації ЛА та цифрових повідомлень про місцеположення ЛА дозволяє відстежувати користувачів повітряного простору в реальному часі у будь-якій точці світу за допомогою відносно недорогого обладнання.

Траекторні дані ADS-B широко використовуються в автоматизованих системах керування повітряним рухом, у системах оцінювання рівня безпеки [8-10], завантаженості повітряного простору, аналізу рівня відхилень від запланованої траекторії руху [11, 12], автоматичної ідентифікації фази польоту [13, 14] або вектора стану літака, для визначення ризиків зіткнень літаків у повітрі [15, 16].

Усе це робить дані спостереження, отримані за ADS-B, надзвичайно важливими в аеронавігації. Тому особлива увага приділяється аналізу точності цих даних. У більшості випадків, точність траекторних даних ADS-B близька до точності датчиків, які забезпечують вимірювання параметрів на борту ЛА, що погіршується помилками, спричиненими затримкою часу в системі.

Як головну систему позиціонування на борту ЛА використовують приймач Глобальної навігаційної супутникової

системи (GNSS – Global Navigation Satellite system) [17]. У разі короткострокового блокування первинного сенсора може бути задіяна інерціальна навігаційна система. Аналіз інцидентів у цивільній авіації вказує на поступове зростання кількості відмов бортового обладнання GNSS [18]. Зокрема, протягом 2019 р. зафіксовано 80 випадків відмов GNSS. У разі тривалого блокування приймача GNSS обчислювальна система літаководіння (FMS – Flight Management System) ініціює алгоритми позиціонування за парами наземних радіонавігаційних засобів [19-21]. Отже, точність координат ЛА, переданих у повідомленнях ADS-B – залежить від типу системи позиціонування, що використовується у певний момент часу, і похибок [22].

Дані у каналі зв'язку ADS-B передаються у цифрових повідомленнях завдовжки 112 біт кожне [4]. Кожне цифрове повідомлення містить унікальний ідентифікатор ЛА, визначений для кожного користувача повітряного простору.

4. Порядок виконання розрахунково-графічної роботи

4.1. Імпортування траєкторних даних

За заданим у варіанті номером рейсу шукаємо траєкторні дані на дату виконання РГР. Пропонується користуватися такими відкритими базами даних траєкторної інформації: FlightAware (<https://flightaware.com>) чи FR24 (<https://www.flightradar24.com>). Для імпорту траєкторних даних у ПЗ MATLAB пропонується використовувати майстер імпорту, зовнішній вигляд якого показано на рис. 2.

Для виконання завдання РГР обов'язковими траєкторними параметрами для імпорту є:

- час вимірювання у форматі DateTime. Для коректного зчитування даних має бути використана така маска: «eee hh:mm:ss а»;
- широта у градусах. Діапазон даних від -90 до 90;
- довгота у градусах. Діапазон даних від -180 до 180;
- барометрична висота у футах від рівня світового океану (MSL – Mean sea level).

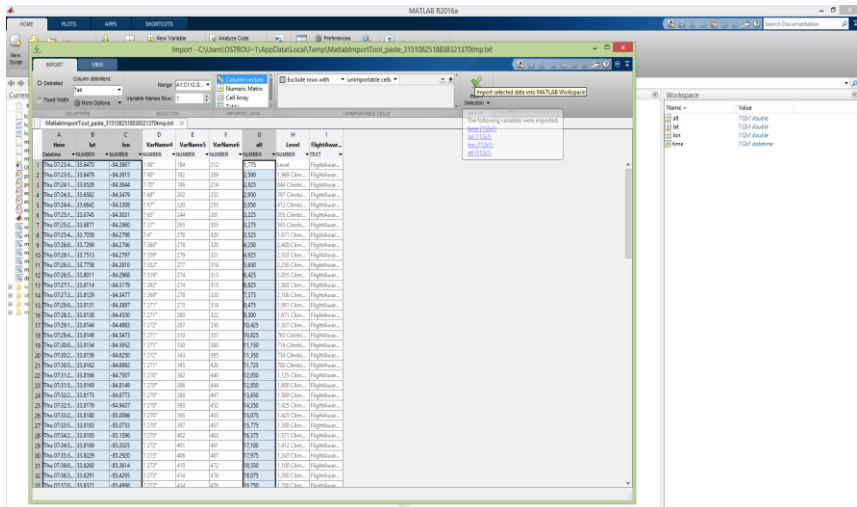


Рис. 2. Імпорт тракторних даних з використанням майстра імпорту даних

Імпорт інших параметрів залежить від особистих побажань здобувача.

Імпортовані дані у просторі змінних MATLAB матимуть вигляд матриць стовпчиків відповідної довжини. Простір змінних пропонується зберегти в окремий файл для наступного незалежного використання шляхом виконання такої функції у командному вікні MATLAB:

`save('flight_number.mat');`

Надалі для швидкого доступу до матриць тракторних даних з підпрограм MATLAB достатнім є використання функції:

`load('flight_number.mat');`

Функція load забезпечує вивантаження змінних, збережених в окремий файл у програмне середовище MATLAB.

4.2. Візуалізація тракторних даних

За імпортованими даними провести візуалізацію траєкторії руху ЛА у конічній проєкції та побудувати профіль польоту.

Візуалізацію траєкторних даних виконаємо з використанням пакету прикладних програм “Mapping Toolbox” у ПЗ MATLAB.

Функція *figure()* створює вікно для відображення графічного матеріалу:

```
figure('Color','white','Name','Title');
```

Застосовуємо функцію *usamap()* для підготовки відображуваної зони на картографічній проєкції. Відображувана зона задається матрицею максимальних і мінімальних значень траєкторії:

```
shift=1;  
latlim = [min(latitude)-shift, max(latitude)+shift];  
lonlim = [min(longitude) - shift, max(longitude)+shift];  
usamap(latlim, lonlim);
```

Використаємо нариси прибережної лінії континентів для візуальної прив’язки траєкторії руху ЛА до географічних елементів:

```
load coastlines;  
geoshow(coastlat,coastlon,'DisplayType','polygon');
```

Матриці даних *coastlat* та *coastlon* завантажуюмо з файлу *coastlines.mat*, розміщеного у робочому просторі MATLAB.

Для візуалізації в рівновіддаленій конічній проєкції використаємо функцію *geoshow()*:

```
geoshow(lat, lon, 'Color','Red','Marker','*','DisplayType',  
'line','LineWidth',1);
```

Також нанесемо підписи аеропортів вільоту та прильоту:

```
textm(lat(1),lon(1), 'KJFK');  
textm(lat(end),lon(end), 'EDDF');
```

Збережемо отримані графіки в окремій теці:

```
folder= 'KJFK-EDDF';  
savefig(strcat(folder, 'fig_01.fig'));  
saveas(gcf,strcat(folder, 'fig_01.jpg'));
```

Як приклад розглянемо рейс DAL 106 сполученням аеропорт Далласа (США) та Міжнародний аеропорт Франкфурта

Тож на першому кроці ітерації ($i=1$) результат фільтрації (X^F) прирівнюється до результатів вимірювання (X^m):

$$X_1^F = X_1^m.$$

На другому кроці ітерації ($i=2$) швидкість зміни параметра (V) може бути обчислена так:

$$X_2^F = X_2^m;$$

$$V_2 = \frac{X_2^m - X_1^m}{t_2 - t_1},$$

де $t_{1,2}$ – відповідні часові відліки.

$$X_i^e = X_{i-1}^F + V_{i-1}(t_i - t_{i-1});$$

$$X_i^F = X_i^e + \alpha(X_i^m - X_i^e);$$

$$V_i = V_{i-1} + \beta \frac{(X_i^m - X_i^e)}{t_i - t_{i-1}},$$

гляд [25]:

$$X_i^e = X_{i-1}^F + V_{i-1}(t_i - t_{i-1}) + \frac{A_{i-1}(t_i - t_{i-1})^2}{2};$$

$$X_i^F = X_i^e + \alpha(X_i^m - X_i^e);$$

$$V_i = V_{i-1} + A_{i-1}(t_i - t_{i-1}) + \beta \frac{(X_i^m - X_i^e)}{t_i - t_{i-1}};$$

$$A_i = A_{i-1} + \gamma \frac{2(X_i^m - X_i^e)}{(t_i - t_{i-1})^2},$$

де A_i – прискорення ЛА на час i -ї ітерації; γ – коефіцієнт керування за прискоренням.

Коефіцієнти фільтра можуть бути розраховані так:

$$\alpha = 1 - \xi^3;$$

$$\beta = 1,5(1 + \xi)(1 - \xi)^2;$$

$$\gamma = (1 - \xi)^3,$$

де ξ – коефіцієнт демпфування.

Загальна структурна схема алгоритму α - β - γ фільтра показана на рис. 7.

Математична модель α - β - γ - η фільтра має такий вигляд [25]:

$$X_i^e = X_{i-1}^F + V_{i-1}(t_i - t_{i-1}) + \frac{A_{i-1}(t_i - t_{i-1})^2}{2} + \frac{J_{i-1}(t_i - t_{i-1})^3}{6};$$

$$X_i^F = X_i^e + \alpha(X_i^m - X_i^e);$$

$$V_i = V_{i-1} + A_{i-1}(t_i - t_{i-1}) + \frac{J_{i-1}(t_i - t_{i-1})^2}{2} + \beta \frac{(X_i^m - X_i^e)}{t_i - t_{i-1}};$$

$$A_i = A_{i-1} + J_{i-1}(t_i - t_{i-1}) + \gamma \frac{2(X_i^m - X_i^e)}{(t_i - t_{i-1})^2};$$

$$J_i = J_{i-1} + \eta \frac{(X_i^m - X_i^e)}{6(t_i - t_{i-1})^3};$$

де J – параметр, що відповідає за дію ривка, чи перша похідна від прискорення; η – коефіцієнт керування фільтра за параметром J .

Коефіцієнти фільтра розраховуються так:

$$\alpha = 1 - \xi^4;$$

$$\beta = \frac{11+14\xi+\xi^2}{6} (1 - \xi)^2;$$

$$\gamma = 2(1 + \xi)(1 - \xi)^3;$$

$$\eta = \frac{(1-\xi)^4}{6}.$$

Коефіцієнт демпфування набуває значень у діапазоні від 0 до 1.

Загальна структурна схема алгоритму α - β - γ - η фільтра показана на рис. 8.

У РГР пропонується розробити власне програмне забезпечення для реалізації α - β , α - β - γ , та α - β - γ - η фільтрів за алгоритмами, наведеними на рис. 6–8. Розроблене ПЗ застосувати для фільтрації імпортованих у пп. 4.1 траєкторних даних. Результат фільтрації відобразити графічно окремо за кожним параметром та у кінчній проєкції. Приклад графічної частини для рейсу DAL 106 від 21 травня 2023 р. наведено на рис. 9–11.

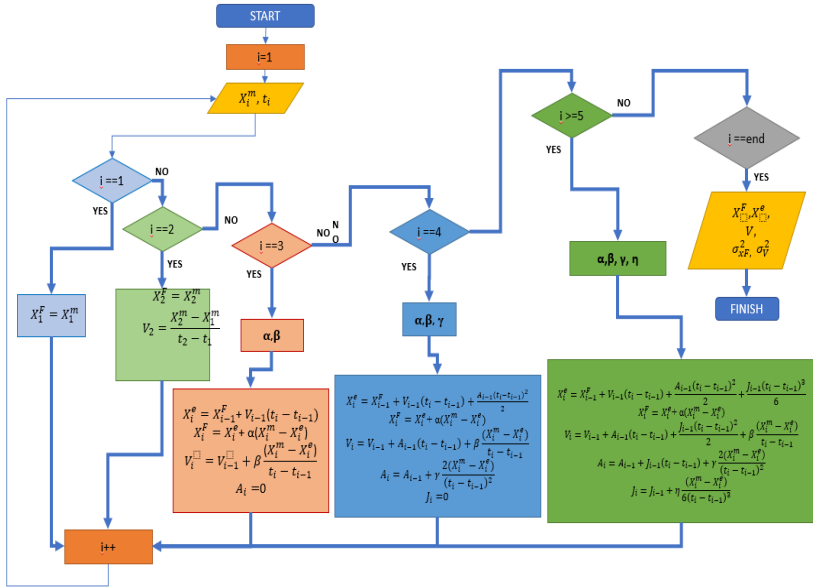


Рис. 8. Структурна схема алгоритму α - β - γ - η фільтра

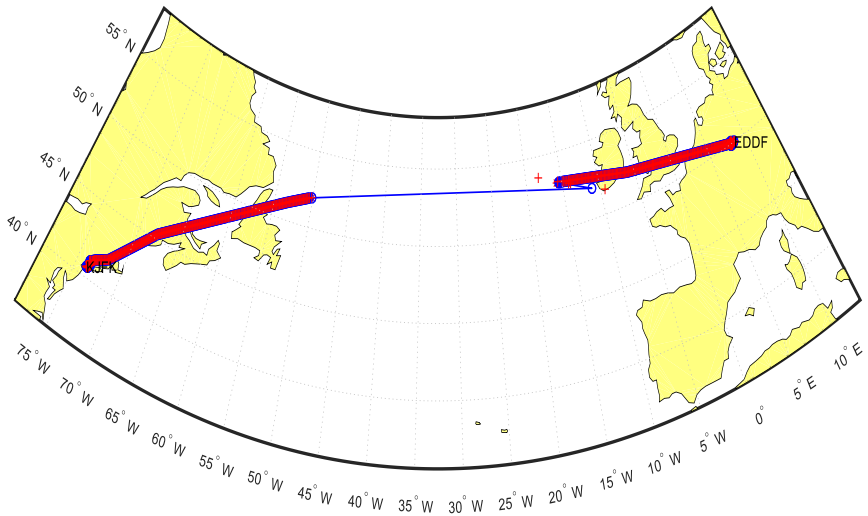


Рис. 9. Результат фільтрації даних траєкторії руху α - β - γ фільтром

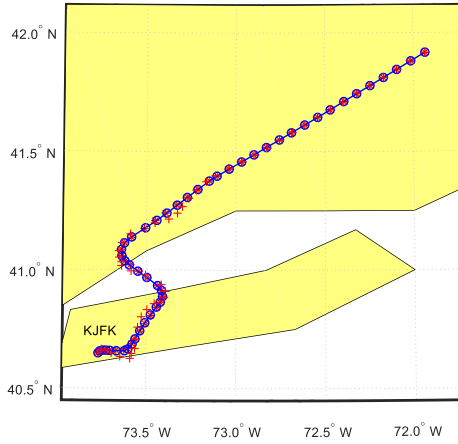


Рис. 10. Збільшена частина траєкторії руху ЛА та результат фільтрації α - β - γ фільтром

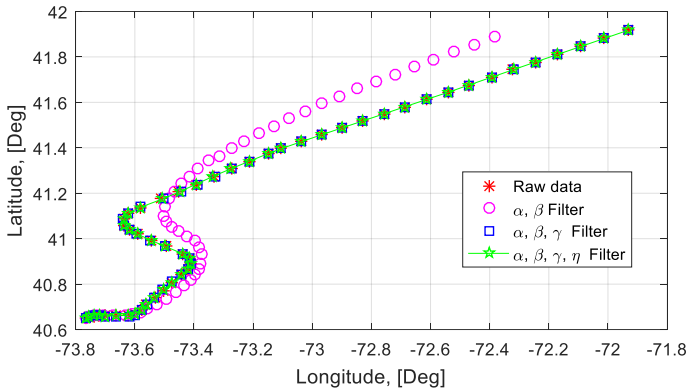


Рис. 11. Порівняння результатів фільтрації різними фільтрами

4.4. Інтерполяція траєкторних даних

Матриці траєкторних даних містять результати несинхронізованих за часом вимірювань. Для відновлення повної траєкторії руху пропонується застосувати модель лінійної регресії з нелінійними регресорами у вигляді групи сплайн-функцій [26, 27]. Цей тип інтерполяції дозволяє отримати найкращі характеристики відновлення даних для будь-якої комбінації вхідних даних.

Для інтерполяції даних у MATLAB пропонується скористатися вбудованою бібліотекою функцій для інтерполяції:

```
latitude = interp1(time,lat,time1,'spline');
```

```
longitude = interp1(time,lon,time1,'spline');
```

```
altitude = interp1(time,alt,time1,'spline');
```

Як аргументи функція *interp1()* використовує матрицю часу (*time*), значення параметра на наявний час (*lat*) та матрицю часу, на який необхідно провести інтерполяцію параметра (*time1*). Також вказується метод інтерполяції даних ('*spline*').

Результат інтерполяції даних за кожним параметром для результатів фільтрації α - β - γ фільтром показати на графіках окремо за кожним параметром та у кіничній проекції для маршруту руху. Приклад візуалізації графічних даних наведено на рис. 12–14.

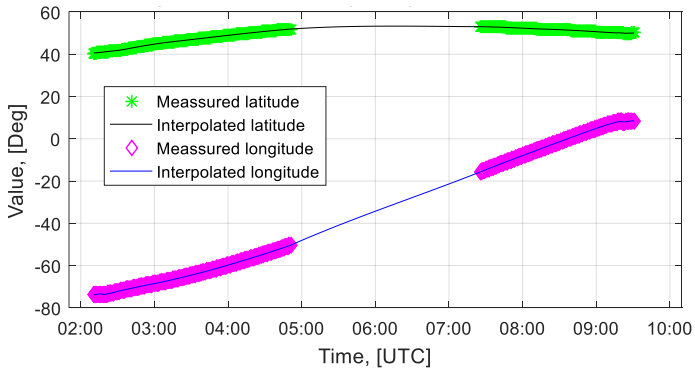


Рис. 12. Результат інтерполяції траєкторних даних

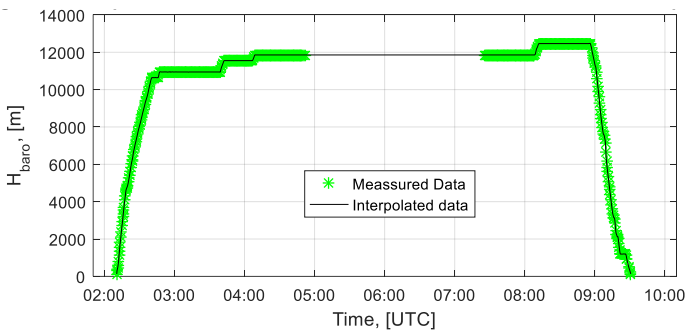


Рис. 13. Інтерполяція даних профілю польоту

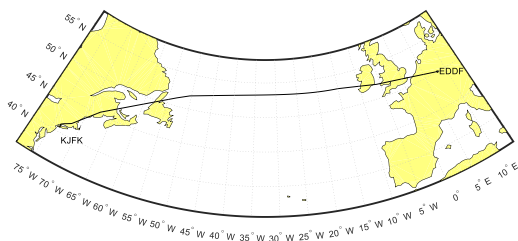


Рис.14. Результат вторинної обробки траєкторії рейсу «DAL 106»

5. Оцінювання

Звіт з РГР надається на перевірку викладачу в роздрукованому вигляді. Загальна кількість балів за виконання РГР становить 14. У разі виявлення фактів академічної не добросовісності результат виконання РГР здобувачеві не зараховується.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ

1. Як системи використовуються під час керування повітряним рухом для визначення координат ЛА?
2. Які параметри траєкторії руху ЛА передаються у ADS-B?
3. Поясніть принцип дії літакового відповідача режиму 1090 ES.
4. Яка мета використання мережі наземних SDR?
5. Яка точність параметрів, що передаються у каналі даних ADS-B?
6. Які системи позиціонування ЛА можуть використовуватись для вимірювання координат місцеположення у просторі?
7. Яка довжина цифрового повідомлення ADS-B?
8. Яка маска використовується для імпорту траєкторних даних?
9. Наведіть переваги застосування траєкторних фільтрів.
10. Наведіть код програми для реалізації α - β фільтра без застосування циклу.
11. Відобразіть графічно траєкторію руху ЛА у конічній проєкції.
12. Який з траєкторних фільтрів є найшвидшим?
13. Як обчислюються коефіцієнти фільтрів?
14. Яка функція MATLAB дозволяє виконати інтерполяцію даних за сплайном і який її синтаксис?
15. Напишіть код програми для розрахунку загальної довжини траєкторії руху.

ВАРІАНТИ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

Номер варіанта видається викладачем-консультантом. За номером варіанта, користуючись табл. 1, обирається аеропорт вильоту. Користуючись базою траєкторних даних для виконання РГР обирається будь-який рейс з вильотом у відповідному аеропорту на дату виконання завдання.

Таблиця 1

Варіанти індивідуальних завдань на РГР

Номер варіанта	Назва аеропорту	Унікальний ідентифікатор аеропорту
1.	Atlanta	ATL
2.	Dallas	DFW
3.	Chicago	ORD
4.	Denver	DEN
5.	Charlotte	CLT
6.	Los Angeles	LAX
7.	Tokyo	HND
8.	New York	JFK
9.	Istanbul	IST
10.	Delhi	DEL
11.	Amsterdam	AMS
12.	Shanghai	PVG
13.	Guangzhou	CAN
14.	Paris	CDG
15.	London	LHR
16.	Frankfurt	FRA
17.	Dubai	DXB
18.	Jakarta	CGK
19.	Las Vegas	LAS
20.	Boston	BOS
21.	Shenzhen	SZX
22.	Houston	IAH
23.	Seattle	SEA

Закінчення табл. 1

Номер варіанта	Назва аеропорту	Унікальний ідентифікатор аеропорту
24.	New York	LGA
25.	Orlando	MCO
26.	Beijing	PEK
27.	Phoenix	PHX
28.	Newark	EWR
29.	Mexico City	MEX
30.	Xi'an	XIY
31.	Miami	MIA
32.	Chengdu	TFU
33.	Toronto	YYZ
34.	Madrid	MAD
35.	Kuala Lumpur	KUL
36.	San Francisco	SFO
37.	Kunming	KMG
38.	Singapore	SIN
39.	Chongqing	CKG
40.	Peking	PKX
41.	Bombay	BOM
42.	Barcelona	BCN
43.	Seoul	ICN
44.	Washington	DCA
45.	Sydney	SYD
46.	Rome	FCO
47.	Manila	MNL
48.	Hangzhou	HGH
49.	Munich	MUC
50.	Shanghai	SHA
51.	Bangkok	BKK
52.	Detroit	DTW

Дані табл. 1 відповідають рейтингу найбільш завантажених аеропортів світу на червень 2023 р. за сумарною кількістю опрацьованих рейсів на день.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. European ATM Master Plan. Digitalising Europe's Aviation Infrastructure, 2020, SESAR Joint Undertaking, Eurocontrol, 176 p.
2. Technical Provisions for Mode S Services and Extended Squitter, 2008, Doc 9871, First Edition, Montreal, Canada, ICAO.
3. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Cybersecurity analysis of navigation systems in civil aviation. 2022 IEEE 41th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). 2022. P. 478–483. <https://doi.org/10.1109/ELNANO54667.2022.9927038>.
4. J. Sun, The 1090 megahertz riddle: a guide to decoding mode S and ADS-B signals. TU Delft OPEN Publishing, 2021. <https://mode-s.org>
5. Ostroumov I.V., Kutsenco O. Software-Defined Transmitter to Support Automatic Dependent Surveillance-Broadcast. 2023 17th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM). 2023. P. 14–17. <https://doi.org/10.1109/CADSM58174.2023.10076507>.
6. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Statistical Analysis and Flight Route Extraction from Automatic Dependent Surveillance-Broadcast Data. 2022 Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS). 2022. P. 1–9. <https://doi.org/10.1109/ICNS54818.2022.9771515>.
7. Zhu X., Li X., Gong X. Performance Analysis of ADS-B Receiving System Based on LEO Satellite Constellation, 21st International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT). 2022. P. 39–42.
8. Ostroumov I.V., Ivashchuk O. Risk of mid-air collision estimation using minimum spanning tree of air traffic graph. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings of the 2st International Workshop on Computational & Information Technologies for Risk-Informed Systems CITRisk-2021. 2022. № 3101. P. 322–334. <http://ceur-ws.org/Vol-3101/Paper24.pdf>
9. Ostroumov I.V., Ivashchuk O., Shmeleva T. Risk of mid-air collision in a lateral plane. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings of the 1st International Workshop on Computational & Information Technologies for Risk-Informed Systems CITRisk-2020. 2021. № 2805. P. 297–307.
10. Tsybaliuk I., Ivashchuk O., Ostroumov I.V. Estimation the Risk of Airplane Separation Lost by Statistical Data Processing of Lateral Deviations. 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). 2020. P. 269–272. <https://doi.org/10.1109/ACIT49673.2020.9208935>.

11. Ostroumov I.V., Marais K., Kuzmenko N.S., Fala N. Triple Probability Density Distribution model in the task of Aviation Risk Assessment. *Aviation*. 2020. № 24(2). P. 57–65 <https://doi.org/10.3846/aviation.2020.12544>.
12. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. A Probability Estimation of Aircraft Departures and Arrivals Delays. Gervasi O. et al. (eds) *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021*. ICCSA 2021. *Lecture Notes in Computer Science*. 2021. № 12950. P. 363–377 https://doi.org/10.1007/978-3-030-86960-1_26.
13. Kuzmenko N.S., Ostroumov I.V., Bezkorovainyi Y., Averyanova Yu., Larin V., Sushchenko O., Zaliskyi M., Solomentsev O. Airplane Flight Phase Identification Using Maximum Posterior Probability Method. *System Analysis & Intelligent Computing : SAIC 2022 3rd International Conference of IEEE*. 2022. P. 1–5. <https://doi.org/10.1109/SAIC57818.2022.9922913>.
14. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Performance analysis of passive positioning by Distance Measuring Equipment and Automatic Dependent Surveillance Broadcast data. *Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics: UkrMiCo 2018 1st International Conference of IEEE*. 2018. P. 1–5. <https://doi.org/10.1109/UkrMiCo43733.2018.9047607>.
15. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Collision Avoidance Systems, airplanes. In Vickerman, Roger. *International Encyclopedia of Transportation*. vol. 2. 4569 p.. UK: Elsevier Ltd., 2021. P. 164–172. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10514-7>.
16. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Risk Assessment of Mid-air Collision Based on Positioning Performance by Navigational Aids. 2020 IEEE 6th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC). 2020. P. 34–37. <https://doi.org/10.1109/MSNMC50359.2020.9255506>.
17. Харченко В.П., Остроумов І.В. *Авіоніка*. Київ: НАУ, 2013. 281 с. https://www.ostroumov.sciary.com/Publications_Avionics
18. Ostroumov I.V., Marais K., Kuzmenko N.S. Aircraft positioning using multiple distance measurements and spline prediction. *Aviation*. 2022. № 26(1). P. 1–10 <https://doi.org/10.3846/aviation.2022.16589> .
19. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Modelling and simulation of DME Navigation global Service volume. *Advances in Space Research*. 2021. № 8(68). P. 3495–3507 <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.06.027>.
20. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. An area navigation RNAV system performance monitoring and alerting. *System Analysis & Intelligent Computing : SAIC 2018 1st International Conference of IEEE*. 2018. P. 211–214. <https://doi.org/10.1109/SAIC.2018.8516750>.

21. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Performance Modeling of Aircraft Positioning System. Conference on Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering–Synergetic Engineering – ICTM 2021. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. № 367. P. 297–310 https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_26.
22. Ostroumov I.V., Performance Evaluation of Positioning Methods Used in the Flight Management System. In Proceedings of the International Workshop on Advances in Civil Aviation Systems Development. Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. № 736. P. 1–14.
23. Flightaware. Офіційний веб сайт компанії. [Електронний ресурс]. URL: <https://flightaware.com/adsb/>
24. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S., Kyzymchuk O. Automatic Dependent Surveillance-Broadcast Trajectory Data Processing. 2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). 2022. P. 43–47. <https://doi.org/10.1109/TCSET55632.2022.9767058>
25. Ostroumov I.V., Larin V.Y. Performance analysis of Alpha-Beta-Gamma Filter for airplane tracking using Automatic Dependent Surveillance-Broadcast. In Proceedings of the International Workshop on Advances in Civil Aviation Systems Development. Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. № 736. P. 1–13.
26. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Aviation Weather Data Processing with Spline Functions. 2021 IEEE 12th International Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT). 2021. P. 67–70. <https://doi.org/10.1109/ELIT53502.2021.9501065>.
27. Kuzmenko N.S., Ostroumov I.V. Navigation by Pair of Distance Measuring Equipment with Extrapolated Data. 2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). 2022. P. 70–74. <https://doi.org/10.1109/TCSET55632.2022.9766941>.

Навчальне видання

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Методичні рекомендації
до виконання розрахунково-графічної роботи
для здобувачів вищої освіти
ОС «Магістр» спеціальності 272
«Авіаційний транспорт»

Укладачі:

ОСТРОУМОВ Іван Вікторович,
ШМЕЛЬОВА Тетяна Федорівна

В авторській редакції

Технічний редактор А.І. Лавринович
Коректор
Комп'ютерна верстка

Підп. до друку 0 .0 .09. Формат 60x84/16. Папір офс.
Офс. друк. Ум. друк. арк. 2,65. Обл.-вид. арк. 2,75.
Тираж 50 пр. Замовлення № - . Вид. № 90/ Ш.

Видавництво Національного авіаційного університету
03680. Київ-680, проспект Любомира Гузара, 1.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002