

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**  
**КАФЕДРА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

**ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри  
д-р техн. наук, проф.

\_\_\_\_\_ В.Ю. Ларін

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**  
**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ  
«ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ»

**Тема: «Використання систем штучного інтелекту в авіонавігації»**

**Виконала:** \_\_\_\_\_ Д.А. Тодорчук

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Г.Ф. Аргунов

**Керівник спеціального розділу:** д-р  
техн. наук, проф. \_\_\_\_\_ Т.Ф. Шмельова

**Нормоконтролер** \_\_\_\_\_ Г.Ф. Аргунов

**Київ 2023**

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій  
Кафедра аеронавігаційних систем  
Навчальний ступінь «Магістр»  
Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»  
Освітньо-професійна програма «Обслуговування повітряного руху»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

д-р техн. наук, професор

\_\_\_\_\_ В. Ларін

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

### **ЗАВДАННЯ**

**на виконання дипломної роботи**

**ТОДОРЧУК ДЖЕНІФЕР АНДРІАНІВНИ**

1. Тема дипломної роботи: «**Використання систем штучного інтелекту в аеронавігації**» затверджена наказом ректора від "22" жовтня 2023 р. № 1443/ст
2. Термін виконання проекту: 23.10.2023 – 31.12.2023
3. Вихідні дані до проекту: інфраструктура наземних засобів спостереження за повітряним рухом.
4. Зміст пояснювальної записки: Аналіз проблеми та постановка задач. Огляд сучасного стану авіаційної безпеки. Виявлення основних викликів та проблем, що виникають. Формулювання основних задач дослідження. Застосування штучного інтелекту в авіаційній безпеці. Огляд існуючих систем та технологій, що використовують штучний інтелект. Аналіз методів машинного навчання та глибокого навчання для виявлення аварійних ситуацій. Приклади успішних використань штучного інтелекту в авіаційній безпеці. Переваги ШІ в авіаційній безпеці. Визначення можливостей розвитку штучного інтелекту в авіаційній безпеці. Етичні та правові виклики в застосуванні штучного інтелекту в авіаційній безпеці. Аналіз поточного стану та перспектив використання систем

штучного інтелекту в аеронавігації. Системи штучного інтелекту в організації повітряного руху. Системи штучного інтелекту в обслуговуванні повітряного руху. Безпека польотів.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: ілюстрації пояснювальних матеріалів, таблиці, блок-схеми алгоритмів.

#### 6. Календарний план-графік

Завдання	Терміни виконання	Відмітка про виконання
Підготовка та написання 1 розділу «Аналіз систем штучного інтелекту»	23.10 – 01.11	
Підготовка та написання 2 розділу «Приклади застосування штучного інтелекту в аеронавігації»	25.10 – 11.11	
Підготовка та написання 3 розділу «Метод та рекомендації до моделювання системи штучного інтелекту»	30.10 – 25.11	
Підготовка та написання 4 розділу «Спеціальний розділ»	10.11 - 30.11	
Підготовка та написання 5 розділу «Охорона навколишнього середовища та захист праці в сфері авіації»	30.11 – 15.12	
Оформлення пояснювальної записки	30.11 – 20.12	
Підготовка презентації та доповіді	10.12 – 25.12	

#### 7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Спеціальний розділ	Д-р техн. наук, проф. Шмельова Т.Ф.	10.11.2023	10.11.2023

8. Дата видачі завдання: «\_23\_» \_ жовтня \_ 2023 р.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_ Аргунов Геннадій Федорович

(підпис керівника)

(прізвище, ім'я, по батькові)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Тодорчук Дженіфер Андріанівна

(підпис студента)

(прізвище, ім'я, по батькові)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту «Використання систем штучного інтелекту в аеронавігації»: 109 сторінок, 20 рисунків, 2 таблиці, 36 використаних джерел.

Ті що найчастіше попадаються ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, МАШИНСЬКЕ НАВЧАННЯ, БЕЗПЕКА ПОЛЬОТІВ.

**Мета дипломної роботи** – розробка рекомендацій до моделювання прототипу штучної нейронної мережі для зміни акценту в реальному часі для ефективного та спрощеного керування повітряним рухом.

**Засоби досягнення** – аналіз систем штучного інтелекту.

**Об'єкт удосконалення** – система штучного інтелекту.

Сучасні тенденції у сфері аеронавігації свідчать про активне впровадження систем штучного інтелекту (ШІ) для покращення безпеки, ефективності та автоматизації польотів. Очікується подальше вдосконалення систем автопілоту та автоматичних систем керування повітряним рухом. Використання алгоритмів машинного навчання дозволить забезпечити більш точні, швидкі та надійні рішення в умовах навантаження та різних сценаріїв в повітрі.

Також прогнозується широке впровадження систем розпізнавання та управління об'єктами на повітряному просторі. ШІ зможе ефективно взаємодіяти зі змінними умовами навколишнього середовища, а також автоматично уникати конфліктів та несприятливих ситуацій.

В цілому, розвиток систем штучного інтелекту в аеронавігації спрямований на забезпечення безпеки, оптимізації ефективності та автоматизації процесів, що обіцяє створення більш передових та конкурентоздатних рішень у цій стратегічно важливій галузі.

**АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ**

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	9
Терміни та визначення.....	11
Вступ.....	14
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....</b>	<b>16</b>
1.1. Обґрунтування потреби в застосуванні штучного інтелекту.....	16
1.2. Етичні та правові виклики в застосуванні штучного інтелекту в авіаційній безпеці.....	19
1.3. Визначення можливостей розвитку штучного інтелекту в авіаційній безпеці.....	24
Висновки до розділу 1.....	26
<b>РОЗДІЛ 2. ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В АЕРОНАВІГАЦІЇ .....</b>	<b>27</b>
2.1. Огляд існуючих автоматизованих систем, що використовуються в аеронавігації.....	27
2.2. Огляд існуючих систем та технологій, що використовують штучний інтелект.....	34
2.3. Переваги ШІ в аеронавігації.....	54
Висновки до розділу 2.....	57
<b>РОЗДІЛ 3. МЕТОД ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....</b>	<b>60</b>
3.1. Коротке уявлення про метод k-nearest neighbours .....	60
3.2. Вибір та підготовка набору даних для навчання.....	62
3.3. Особливості застосування в контексті аеронавігації.....	64
3.4. Клонування голосу за схемою many-to-one та speech-to-speech .....	64
3.5. Енкодер мовця .....	67
3.6. Акустична модель.....	68
Висновки до розділу 3.....	71

РОЗДІЛ 4. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	73
4.1. Автоматизована обробка аеронавігаційних даних великої розмірності.....	73
4.2. Методологія відновлення системи спостереження.....	78
Висновки до розділу 4.....	80
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЗАХИСТ ПРАЦІ В СФЕРІ АВІАЦІЇ.....	81
5.1. Шумове забруднення від авіаційного транспорту.....	81
5.2. Основні поняття гігієни праці.....	86
Висновок до розділу 5.....	89
Загальні висновки.....	91
Список використаних джерел.....	93
Додатки .....	97

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АДВ – аеродромна диспетчерська вишка
- АС КПП – автоматизована система керування повітряним рухом
- АДО – аеродромне диспетчерське обслуговування
- БП – безпека польотів
- ГАНП – Глобальний аеронавігаційний план
- ОПР – обслуговування повітряного руху
- ОрПР – організація повітряного руху
- РДЦ – районний диспетчерський центр
- ЕМП – електромагнітне поле
- ПАНО – постачальники аеронавігаційного обслуговування
- ПВП – правила візуальних польотів
- ПС – повітряне судно
- УПР – управління повітряним рухом
- ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-broadcast) — автоматичне залежне спостереження в режимі широкозонного мовлення
- A-SMGCS (Advanced Surface Movement Guidance and Control System) – покращена система керування наземним рухом і контролю за ним
- AIP (Aeronautical Information Publication) – збірник аеронавігаційної інформації
- ATM (Air Traffic Management) — організація повітряного руху
- CTR (Control Zone) — диспетчерська зона
- FPL (Filed Flight Plan) – наданий план польоту
- FIS (Flight Information Service) – польотно-інформаційне обслуговування
- ICAO (International Civil Aviation Organisation) — Міжнародна організація цивільної авіації
- KPA (Key Performance Areas) – ключові сфери ефективності
- SES (Single European Sky) – Єдине європейське небо
- PAR (Precision Approach Radar) – радіолокатор точного заходження на посадку



## ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА ВИЗНАЧЕНЬ

Аеропорт (Airport) - комплекс споруд, що призначений для приймання, відправлення повітряних суден, обслуговування повітряних перевезень, проведення робіт з технічного обслуговування і має для таких цілей аеродром, аеровокзал, інші наземні споруди та необхідне обладнання

Безпека польотів (Flight safety) - це стан, при якому ризик аварії літака або іншого повітряного судна є прийнятним. Безпека польотів є важливим фактором для забезпечення безпеки пасажирів, екіпажу та інших осіб, які можуть бути залучені до авіаційних операцій.

Диспетчерська зона (Control Zone) — контрольований повітряний простір, що простягається вгору від земної поверхні до встановленої верхньої межі.

Європейський простір єдиного неба: дослідження та розробки (SESAR) - це програма досліджень і розробок, яка спрямована на модернізацію системи управління повітряним рухом (ATM) в Європі. Програма SESAR була запущена в 2004 році Європейською комісією. Вона фінансується з бюджету Європейського Союзу та з внесків країн-учасниць. Програма SESAR має на меті зробити систему ATM в Європі більш ефективною, безпечною та стійкою до змін. Для цього програма передбачає впровадження новітніх технологій

Інформація (Information)- це відомості про факти, події, речі, ідеї та поняття, які у певному контексті мають конкретний зміст. Інформація може бути представлена у різних формах, таких як текст, зображення, звук, відео та код. Існує багато різних визначень інформації. Одне з найпопулярніших визначень було запропоновано Джоном Дьюї, американським філософом. Він визначив інформацію як "те, що зменшує невизначеність". Іншими словами, інформація - це відомості, які допомагають нам краще зрозуміти світ навколо нас.

Інформація про рух (Traffic Information) — інформація, що надається органом обслуговування повітряного руху екіпажу повітряного судна для попередження його про інші відомі повітряні судна або повітряні судна, які можуть перебувати недалеко від його місцеперебування або зазначеного маршруту польоту, що допомагає екіпажу запобігати зіткненню.

Машинне навчання (Machine Learning) - це підгалузь штучного інтелекту, яка займається розробкою алгоритмів, які можуть навчатися на даних і використовувати ці знання для виконання завдань. Алгоритми машинного навчання не програмуються вручну, а навчаються на даних, які називаються навчальним набором.

Моніторинг траєкторії польоту (Flight Path Monitoring) — використання систем спостереження обслуговування повітряного руху з метою забезпечення повітряних суден інформацією та повідомленнями про значні відхилення від номінальної траєкторії польоту, включаючи відхилення від умов, виданих у складі диспетчерських дозволів.

Обслуговування повітряного руху (Air traffic service) — загальний термін, що означає у відповідних випадках надання таких послуг: польотно-інформаційне обслуговування, аварійне обслуговування, консультативне обслуговування, диспетчерське обслуговування повітряного руху (районне диспетчерське обслуговування, диспетчерське обслуговування підходу або аеродромне диспетчерське обслуговування).

Організація повітряного руху (Airspace Management) — динамічний, інтегрований менеджмент повітряного руху та повітряного простору, що включає обслуговування повітряного руху, менеджмент повітряного простору та менеджмент потоків повітряного руху, що виконується безпечно, економічно та ефективно шляхом надання засобів та безперервного обслуговування у взаємодії з усіма сторонами та із залученням бортових та наземних функцій.

Повітряне судно (Aircraft) — це літальний апарат, що тримається в атмосфері за рахунок його взаємодії з повітрям, відмінної від взаємодії з повітрям, відбитим від земної поверхні, і здатний маневрувати у тривимірному просторі.

Точність вимірювання — здатність систем спостереження обслуговування повітряного руху вимірювати координати й параметри руху об'єктів із заданою похибкою.

Трек (Track) — проекція лінії шляху повітряного судна на земну поверхню, напрямок якої в будь-якій точці польоту виражений в градусах від північного (істинного, магнітного, компасного або умовного) меридіана.

Управління повітряним рухом (Air Traffic Control) — комплекс заходів з організації управління операційним повітряним рухом.

Штучний інтелект (Artificial Intelligence) - це галузь інформатики, яка займається розробкою інтелектуальних машин, здатних виконувати завдання, які зазвичай потребують людського інтелекту. Системи ШІ створені для навчання на досвіді, розпізнавання закономірностей і прийняття рішень на основі вхідних даних.

## ВСТУП

Забезпечення безпеки в авіаційній індустрії є однією з найважливіших та найскладніших завдань, які вимагають постійного вдосконалення та інноваційних підходів. З огляду на необхідність запобігання аваріям та зменшення ризиків, пов'язаних з авіаційними перевезеннями, застосування штучного інтелекту стає все більш актуальним та перспективним напрямом розвитку.

Метою даної дипломної роботи є аналіз та оцінка потенціалу застосування штучного інтелекту в аеронавігації, а також визначення перспектив його використання. Дослідження виявляється актуальним в контексті зростання обсягів авіаційного трафіку, складності операцій та постійних змін у вимогах до безпеки.

Об'єктом дослідження є процеси та системи, пов'язані з авіаційною безпекою, а предметом дослідження є застосування штучного інтелекту в цих процесах та системах. Розуміння можливостей та обмежень штучного інтелекту у сфері авіаційної безпеки дозволить покращити ефективність та надійність систем управління повітряним рухом, діагностики та передбачення аварійних ситуацій.

Важливим кроком у розробці систем безпеки авіації є аналіз існуючих рішень та технологій, що базуються на штучному інтелекті. Відомі приклади успішного використання штучного інтелекту в авіаційній безпеці, такі як системи виявлення аварійних ситуацій, прогнозування технічного стану повітряних суден, автоматизовані системи диспетчеризації та багато інших. Але в той же час існують виклики, пов'язані з впровадженням штучного інтелекту в цю галузь, такі як етичні та правові питання, проблеми збереження конфіденційності даних та недостатня надійність алгоритмів.

На даному етапі розвитку штучного інтелекту (ШІ) можна спостерігати, як різні сфери нашого життя вже встигли пристосуватися до наявності цього допоміжного важеля. Основною метою розвитку штучного інтелекту прийнято наступне: створення машин з інтелектом, який можна порівняти з інтелектом

людей. Такий висновок було сформульовано на початку п'ятдесятих років ХХ століття, і з того часу формулювання зберігається.

Цілі застосування ж можуть змінюватись в залежності від сфери та потреб, за якими було введено використання ШІ. Очевидно, що такий плідний розвиток ШІ не повинен обійти й авіаційну сферу. Разом з розвитком функціоналу ШІ нам відкриваються колосальні можливості щодо покращення аеронавігаційного обслуговування та підтримки безпеки повітряного руху, що є однією з головних цілей авіаційної промисловості.

У цій дипломній роботі розглянуто різні проекти розробки систем штучного інтелекту для застосування їх в аеронавігації. Проекти отримали фінансування від підприємства SESAR (The Single European Sky ATM Research) у рамках дослідницької та інноваційної програми Європейського Союзу Horizon.

Мета дипломної роботи та задачі: проаналізувати використання систем ШІ та довести ефективність їх інтеграції у аеронавігації.

## **РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

### **1.1. Обґрунтування потреби в застосуванні штучного інтелекту**

Впровадження штучного інтелекту в авіаційній галузі має великий потенціал для підвищення безпеки, ефективності та точності авіаційних операцій. Цей потенціал не може бути недооцінений, оскільки авіаційна галузь стикається з численними викликами та проблемами. Впровадження штучного інтелекту може стати рішенням для багатьох з них. Застосування штучного інтелекту дозволить авіаційній галузі забезпечити вищий рівень безпеки, покращити ефективність операцій та забезпечити більшу точність у виконанні різних завдань. Такі переваги стануть вагомими факторами для розвитку та покращення авіаційної галузі.

Звичайні автоматизовані системи управління повітряним рухом (АТС - Air Traffic Control) і системи штучного інтелекту (AI - Artificial Intelligence) можуть виконувати різні завдання і функції в аеронавігації, і ось основні відмінності між ними:

**Функціональність:**

**АТС:** Основна мета АТС полягає в управлінні рухом повітряних судів, наданні консультацій та інструкцій пілотам, а також забезпеченні безпеки повітряних польотів. АТС використовує радары, комунікаційні системи та автоматизовані інструменти для виконання цих функцій.

**AI:** Системи штучного інтелекту можуть виконувати більш різноманітні завдання, включаючи аналіз великих обсягів даних, передбачення та оптимізацію, роботу з навчальними моделями і вирішення складних завдань, таких як розпізнавання зображень та обробка природної мови.

**Джерело даних:**

**АТС:** АТС використовує дані з радарів, аеропортів, супутникових систем навігації, власних даних авіакомпаній і даних польотів для виконання своїх завдань.

**AI:** Системи штучного інтелекту можуть використовувати різноманітні

джерела даних, включаючи тексти, зображення, відео, сенсорні дані, сукупні дані та інші, для навчання моделей та вирішення завдань.

Завдання:

АТС: АТС спеціалізується на управлінні рухом повітряних судів, координації зльотів і приземлень, видачі дозволів на виконання маневрів та забезпеченні безпеки польотів.

АІ: Системи штучного інтелекту можуть застосовуватися для більш широкого спектру завдань, включаючи аналіз даних для прийняття рішень, розпізнавання образів, передбачення погоди, оптимізацію маршрутів, автоматизацію процесів обробки даних та багато інших.

Хоча обидві системи можуть використовувати технології автоматизації, їхні функціональність і застосування суттєво різняться. АТС спрямована на безпеку та координацію повітряних польотів, тоді як системи штучного інтелекту можуть вирішувати більш різноманітні завдання, які виходять за межі безпеки польотів, включаючи аналіз даних, передбачення подій та оптимізацію процесів. Збір, зберігання та обробка великої кількості даних є надзвичайно важливими для ефективної роботи штучного інтелекту в галузі авіаційної безпеки. Ці процеси дозволяють забезпечити оптимальну функціональність та точність аналізу даних, що в свою чергу забезпечує безпеку пасажирів, екіпажу та всіх інших учасників авіаційних процесів. Однак, разом з цим, виникає потреба в ретельному контролі та захисті приватності та конфіденційності цих даних. Важливо розробити надійні механізми та політики захисту даних, щоб уникнути можливих загроз та зловживань. Такий підхід дозволить забезпечити використання даних тільки у визначених цілях, з урахуванням необхідних гарантій приватності та конфіденційності.

Для обґрунтування необхідності впровадження систем штучного інтелекту (ШІ) в авіаційну безпеку необхідно провести детальний аналіз стану існуючих заходів безпеки. Цей аналіз включає в себе оцінку ефективності і доцільності існуючих заходів, визначення прогалів і областей, які потребують покращень, а також визнання обмежень традиційних підходів. Під час цього аналізу будуть

враховані різні фактори, такі як частота і типи аварій, потенційні загрози безпеці, використовувані технології та процедури. Результати аналізу стануть підґрунтям для подальшої розробки та впровадження ШІ в авіаційну безпеку з метою забезпечення більш ефективного та безпечного функціонування авіаційної галузі.

Крім того, важливо визначити основні виклики та проблеми в авіації. Це можуть бути питання, пов'язані з управлінням повітряним рухом, погодними умовами, підготовкою пілотів і обслуговуванням літаків. Крім цього, штучний інтелект має потенціал розв'язувати ще більше проблем, забезпечуючи аналіз даних у реальному часі, прогнозне моделювання, системи підтримки прийняття рішень та багато іншого. Таким чином, штучний інтелект стає потужним інструментом для вдосконалення авіаційної галузі.

Формулюючи конкретні завдання, які потрібно вирішити, такі як аналіз і прогнозування погодних умов, ШІ може допомогти зменшити ризики, пов'язані з несприятливими погодними умовами, тим самим покращуючи безпеку польотів. Крім того, штучний інтелект може допомогти оптимізувати маршрути польотів, зменшити споживання палива та підвищити ефективність експлуатації.

Додатково, ШІ може використовуватися для автоматизації процесів обслуговування пасажирів та виявлення потенційних проблем у літаках, що дозволяє забезпечити швидше та безпечніше подорожування. Також, штучний інтелект може використовуватися для аналізу великих обсягів даних та прогнозування попиту на рейси, що допомагає авіакомпаніям планувати розклади та використовувати ресурси ефективніше.

Застосування штучного інтелекту в авіаційній галузі може відкрити нові горизонти та прискорити розвиток цієї галузі. Використання ШІ в авіації дозволить досягти високої точності та безпеки у виконанні авіаційних операцій, знизити витрати та покращити ефективність різних процесів. Це важливий крок у напрямку майбутнього авіації, де штучний інтелект буде використовуватися для автоматизації та підтримки різних аспектів авіаційної галузі. Таким чином, впровадження штучного інтелекту в авіацію є необхідним кроком для розвитку цієї галузі та підвищення її конкурентоспроможності.



## 1.2. Етичні та правові виклики в застосуванні штучного інтелекту в авіаційній безпеці

Використання штучного інтелекту в авіаційній безпеці відкриває нові перспективи, але також поставляє перед нами етичні та правові виклики (рис. 1.1), які необхідно вирішити. Для забезпечення ефективного та етичного використання штучного інтелекту в авіаційній безпеці, необхідно враховувати наступні аспекти:

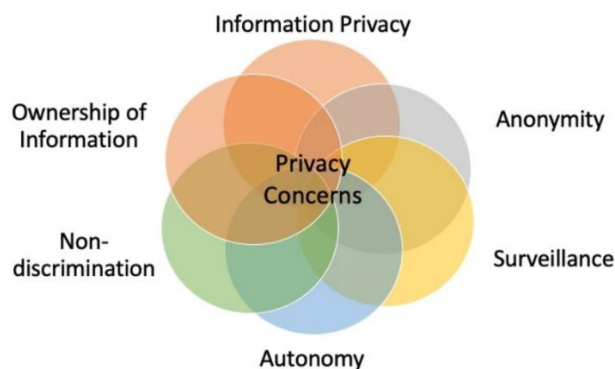


Рисунок 1.1 - Шість проблем конфіденційності

### 1.2.1. Конфіденційність та захист даних

Збір, зберігання та обробка великої кількості даних є надзвичайно важливими для ефективної роботи штучного інтелекту в галузі авіаційної безпеки. Ці процеси дозволяють забезпечити оптимальну функціональність та точність аналізу даних, що в свою чергу забезпечує безпеку пасажирів, екіпажу та всіх інших учасників авіаційних процесів. Однак, разом з цим, виникає потреба в ретельному контролі та захисті приватності та конфіденційності цих даних. Важливо розробити надійні механізми та політики захисту даних, щоб уникнути можливих загроз та зловживань. Такий підхід дозволить забезпечити використання даних тільки у визначених цілях, з урахуванням необхідних гарантій приватності та конфіденційності.

### 1.2.2. Відповідальність та етика роботи штучного інтелекту

Штучний інтелект може приймати рішення та впливати на безпеку польотів. Однак, виникає питання, хто несе відповідальність за дії штучного інтелекту у разі непередбачуваних ситуацій або аварій. Також потрібно розглянути етичні

аспекти використання штучного інтелекту, зокрема, врахувати можливість впливу алгоритмів на людське життя та безпеку.

Штучний інтелект може бути корисним інструментом, який сприяє автоматизації процесів та полегшує наше життя. Застосування штучного інтелекту в авіації може забезпечити більш точну та швидку обробку інформації, що допомагає забезпечити безпеку польотів.

Проте, разом з позитивними аспектами використання штучного інтелекту виникають й певні виклики. Наприклад, хто несе відповідальність, якщо штучний інтелект зробить неправильне рішення у непередбачуваній ситуації або виникне аварія? Це питання потребує уваги та ретельного розгляду з метою забезпечення безпеки польотів.

Крім того, використання штучного інтелекту має вплив на етичні аспекти. Алгоритми, що використовуються в штучному інтелекті, можуть мати великий вплив на людське життя та безпеку. Тому, слід ретельно розглянути ці аспекти та розробити відповідні етичні стандарти для використання штучного інтелекту з метою забезпечення нашої безпеки та добробуту.

### ***1.2.3. Прозорість та пояснюваність алгоритмів***

Алгоритми штучного інтелекту можуть бути складними та непередбачуваними, що ускладнює визначення причин та пояснення рішень. Важливо зробити алгоритми прозорішими та зрозумілими для користувачів та регуляторів.

### ***1.2.4. Запобігання дискримінації та неправильних висновків***

Алгоритми штучного інтелекту можуть показувати біаси або робити неправильні висновки, що може призвести до дискримінації або негативного впливу на безпеку. Важливо розробити механізми для виявлення та усунення таких проблем, а також встановити принципи недопустимості дискримінації у роботі штучного інтелекту в авіаційній безпеці.

Зокрема, необхідно проводити регулярні аналізи алгоритмів штучного інтелекту, щоб виявити можливі біаси та неправильні висновки. Також важливо

розробити систему зворотного зв'язку, щоб користувачі могли повідомляти про будь-які негативні наслідки використання штучного інтелекту. На основі цієї інформації можна буде вжити відповідних заходів для усунення проблем.

Крім того, важливо встановити принципи недопустимості дискримінації у роботі штучного інтелекту в авіаційній безпеці. Це можна зробити шляхом розробки кодексу етики для штучного інтелекту, який встановлюватиме правила та стандарти поведінки для алгоритмів. Крім того, важливо забезпечити незалежний нагляд за роботою штучного інтелекту в авіаційній безпеці, щоб уникнути можливих конфліктів і зловживань.

Узагалі, робота з штучним інтелектом в авіаційній безпеці потребує багатоуровневого підходу та постійного вдосконалення. Тільки за умови встановлення механізмів виявлення та усунення проблем, а також дотримання принципів недопустимості дискримінації, можна забезпечити безпеку та ефективність в роботі штучного інтелекту в авіаційній сфері.

#### ***1.2.5. Регулятивний фреймворк***

Для забезпечення високого рівня безпеки усіх учасників авіаційних процесів необхідно розробити чіткий регулятивний фреймворк, що встановлює стандарти використання штучного інтелекту в авіаційній безпеці. Це допоможе не лише забезпечити відповідність етичним та правовим нормам, але й зберегти високий рівень безпеки для всіх учасників авіаційних процесів. Крім того, цей регулятивний фреймворк зможе врахувати широкий спектр ситуацій і потенційних загроз, що виникають у сфері авіаційної безпеки і пов'язані з застосуванням штучного інтелекту. Таким чином, розробка такого фреймворку є критично важливою для забезпечення безпеки та впровадження інноваційних технологій у галузі авіації.

З ростом використання штучного інтелекту в авіаційній безпеці виникає низка етичних та правових питань, які необхідно вирішити. Одним з основних етичних викликів є прозорість та відповідальність алгоритмів штучного інтелекту. Коли приймаються автоматичні рішення на основі аналізу великих

обсягів даних, важливо мати можливість розуміти, як саме алгоритми приймають рішення.

На сьогоднішній день, штучний інтелект в авіаційній безпеці стає все більш використовуваним і розповсюдженим. Це викликає не лише технологічний прогрес, а й появу етичних та правових питань, з якими необхідно зіткнутися. Наприклад, одним з основних етичних викликів є прозорість та відповідальність алгоритмів штучного інтелекту. При прийнятті автоматичних рішень, які базуються на аналізі великих обсягів даних, важливо мати можливість розуміти, як саме алгоритми приймають рішення. Таким чином, забезпечення прозорості та відповідальності використання штучного інтелекту є надзвичайно важливим аспектом в авіаційній безпеці.

Другим важливим аспектом є проблема недискримінації та справедливості при застосуванні штучного інтелекту. Коли системи штучного інтелекту аналізують дані про пасажирів або персонал авіакомпаній і приймають рішення на основі цих даних, виникає ризик дискримінації за такими ознаками, як раса, стать або національність. Однак, це не єдиний аспект, який слід враховувати. Крім того, системи штучного інтелекту можуть також впливати на приватність та етику, оскільки вони збирають та обробляють великі обсяги особистих даних. Тому, важливо розробляти та використовувати ці системи з відповідальністю та з урахуванням потенційних наслідків.

Третім викликом є проблема приватності та захисту даних. Штучний інтелект потребує великої кількості даних для навчання та прийняття рішень. Однак, збір і збереження цих даних можуть порушити приватність пасажирів та інших учасників авіаційного процесу. Важливо розробити ефективні механізми захисту даних та забезпечити їх конфіденційність. Крім цього, можна провести додаткові дослідження і розробити нові методи захисту, щоб забезпечити більшу безпеку та надійність обробки даних.

Також можна вдосконалити процес збору даних, залучивши більше джерел та використовуючи нові технології, що дозволить отримати більш точні та повні дані для аналізу та використання штучного інтелекту. Зокрема, можна

співпрацювати з компаніями, які мають доступ до великої кількості даних, для отримання більш широкого спектру інформації. Всі ці заходи допоможуть забезпечити ефективне використання штучного інтелекту в авіаційній галузі та збільшити його користь для всіх зацікавлених сторін.

Останнім, але не менш важливим, є виклик у сфері відповідальності та безпеки. Коли системи штучного інтелекту беруть на себе прийняття рішень у ситуаціях надзвичайної обстановки, виникає питання, хто несе відповідальність за наслідки цих рішень. Більше того, дуже важливо забезпечити, що системи штучного інтелекту будуть не лише безпечними та надійними, але також мінімізувати ризики аварій та непередбачуваних ситуацій, що можуть виникнути.

Вирішення цих етичних та правових викликів відіграє важливу роль у розвитку та прийнятті штучного інтелекту в авіаційній безпеці. На сьогоднішній день, це питання є вельми актуальним і потребує негайного уваги. У зв'язку з цим, необхідно розробити комплексну систему стандартів та регулятивних положень, які забезпечать ефективне та етичне використання штучного інтелекту в авіаційній безпеці. При цьому, головною метою буде збереження високого рівня безпеки та довіри всіх учасників авіаційного процесу. Досягнення цієї мети буде вимагати співпраці між урядом, вченими, фахівцями з інформаційних технологій та іншими зацікавленими сторонами.

### **1.3. Визначення можливостей розвитку штучного інтелекту в авіаційній безпеці**

Штучний інтелект має великий потенціал для використання в авіаційній безпеці, забезпечуючи підтримку прийняття рішень для пілотів та диспетчерів повітряного руху в реальному часі. Використання методів машинного та глибокого навчання дозволяє аналізувати політи в реальному часі, прогнозувати можливі небезпечні ситуації та аварійні події, а також забезпечувати широкий спектр додаткових функцій, що поліпшують безпеку авіації. ШІ може ефективно обробляти великі обсяги даних, надавати точні прогнози та рекомендації, а також

реалізовувати стійку та швидку комунікацію з пілотами та диспетчерами. Використання ШІ в авіаційній безпеці відкриває нові перспективи для покращення безпеки та ефективності повітряного руху.

Алгоритми штучного інтелекту, завдяки своїй здатності виявляти взаємозв'язки та патерни, можуть виявити потенційні причини аварій і надати рішення в реальному часі, щоб уникнути небезпеки. В результаті цього можна знизити ризик аварій та покращити загальний рівень безпеки польотів. Надійні алгоритми штучного інтелекту допомагають забезпечити, що критичні моменти в польоті будуть вчасно виявлені та вирішені, сприяючи безпечній і ефективній авіаційній діяльності.

Аналіз даних про польоти з використанням штучного інтелекту дозволяє передбачити можливості аварійної ситуації та прийняти запобіжні заходи, які запобігають нещасним випадкам, а також забезпечують високий рівень безпеки в авіації. Дослідження показали, що використання штучного інтелекту значно підвищує ефективність системи моніторингу польотів, дозволяючи швидко виявляти потенційні проблеми та реагувати на них. Крім того, впровадження штучного інтелекту дозволяє знизити ризик аварійних ситуацій і підвищити рівень безпеки в цілому. Таким чином, використання штучного інтелекту в авіаційній галузі має великий потенціал для поліпшення безпеки та запобігання нещасним випадкам.

Використання штучного інтелекту також дозволяє виявляти зіткнення з птахами та ефективно керувати повітряним рухом, забезпечуючи безпеку полів та оптимальне використання повітряного простору. Крім цього, штучний інтелект може допомогти вдосконалити систему навігації та прогнозування погоди, що покращить точність та надійність авіаційних рейсів. Також, за допомогою штучного інтелекту можна розробити імітаційні моделі для тренування пілотів та вирішення екстрених ситуацій у повітряному просторі. Всі ці можливості штучного інтелекту допомагають підвищити безпеку та ефективність авіаційної індустрії.

Застосування штучного інтелекту в авіаційній безпеці дає значні переваги та відкриває нові перспективи для подальшого розвитку та покращення безпеки польотів. Штучний інтелект може автоматизувати багато процесів, що раніше вимагали великої людської праці. Він може аналізувати великі обсяги даних, щоб виявляти тенденції та прогнозувати можливі ризики. Крім того, штучний інтелект може забезпечити автоматичне моніторингове обладнання та системи реагування на аварійні ситуації. Використання штучного інтелекту також сприяє покращенню ефективності та точності вирішення проблем в авіаційній безпеці.

Загалом, застосування штучного інтелекту в авіаційній безпеці має великий потенціал для підвищення безпеки польотів та забезпечення більш ефективної та надійної авіаційної системи.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Підсумовуючи, застосування штучного інтелекту в авіації є необхідним для подолання викликів і проблем галузі. Завдяки дослідженням і вирішенню конкретних завдань, штучний інтелект має потенціал для революції в авіаційних операціях. Використання штучного інтелекту в авіації може привести до створення більш безпечних, ефективних і точних систем повітряного транспорту. Це може включати розробку нових алгоритмів для автоматизації процесів, використання машинного навчання для прогнозування технічних проблем і вдосконалення системи навігації.

Застосування системи штучного інтелекту в аеронавігації може сприяти покращенню безпеки, ефективності та точності авіаційних процесів. Дослідження та вирішення вищезазначених задач є важливими кроками у напрямку розвитку цієї сфери. Більш глибоке розуміння можливостей штучного інтелекту у сфері аеронавігації може відкрити нові перспективи для покращення якості та безпеки авіаційної індустрії. Крім того, впровадження штучного інтелекту може допомогти зменшити людський фактор у авіаційних процесах, що може вплинути на зниження ризиків та помилок в цій галузі.

Враховуючи широкий потенціал штучного інтелекту, дослідження та розробка нових технологій у цій сфері є надзвичайно важливими для забезпечення подальшого розвитку авіаційної індустрії.



## **РОЗДІЛ 2. ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В АЕРОНАВІГАЦІЇ**

Розділ "Приклади застосування штучного інтелекту в авіаційній безпеці" ставить перед собою завдання детально розглянути інноваційні можливості, які надає штучний інтелект в сфері авіаційної безпеки. Однією з ключових галузей, де ШІ вже знайшов широке застосування, є авіація. Інтелектуальні системи, навчені на великій кількості даних та здатні аналізувати складні ситуації, відкривають нові можливості для підвищення безпеки та оптимізації процесів у цій галузі.

Сучасні технології ШІ дозволяють авіаційним організаціям та авіакомпаніям впроваджувати інтелектуальні системи для прогнозування аварійних ситуацій, підвищення надійності та безпеки польотів, а також оптимізації ресурсів. У цьому розділі будуть розглянуті різні аспекти використання ШІ в авіаційній безпеці, включаючи існуючі системи та технології, методи машинного навчання та глибокого навчання, а також приклади успішних використань ШІ в цій сфері.

Застосування ШІ в авіаційній безпеці не лише покращує безпеку та ефективність польотів, але й відкриває нові горизонти для розвитку авіаційної індустрії. Розділ намагається розкрити потенціал цієї технології та вказати на важливість подальшого дослідження та впровадження ШІ в авіаційній безпеці з метою підвищення рівня безпеки та якості послуг в цій важливій галузі.

### **2.1. Огляд існуючих автоматизованих систем, що використовуються в аеронавігації**

Системи планування маршрутів в авіаційній сфері призначені для створення оптимальних маршрутів для польотів, враховуючи різні фактори, такі як погода, повітряний рух, обмеження повітряного простору та інші параметри. Основна мета таких систем - забезпечити безпеку та ефективність польотів, а також зекономити паливо та час.

Основні кроки роботи системи планування маршруту можуть включати в себе наступне:

- а) збір і аналіз інформації: система отримує дані про польот, такі як пункт відправлення, пункт призначення, тип літака, погода, інформацію про повітряний рух і багато іншої інформації.
- б) планування маршруту: за допомогою складних алгоритмів і математичних обчислень система створює оптимальний маршрут, який мінімізує паливо, забезпечує безпеку і враховує всі обмеження.
- в) оптимізація маршруту: система може вносити корекції до маршруту на основі змін в погоді, повітряному русі, технічних аспектах і інших факторах, щоб забезпечити оптимальні умови польоту.
- г) подання плану маршруту: згенерований маршрут подається льотчику або диспетчеру для підтвердження та виконання.

У сфері аеронавігації існує кілька автоматизованих систем управління повітряним рухом, які спрощують і поліпшують управління повітряним рухом, забезпечуючи безпеку та ефективність авіаційних операцій. Ось деякі з них:

Indra – світовий лідер у галузі АТМ, надаючи інноваційні технологічні рішення для управління повітряним рухом та забезпечення безпеки повітряних шляхів. У цій статті ми розглянемо систему автоматизації повітряного руху Indra, її ключові характеристики, переваги та внесок у безпеку та ефективність цивільної авіації.

Indra - це світовий інноваційний технологічний гігант, який займається розробкою та впровадженням передових систем АТМ із більш ніж 90-річною історією. Компанія базується в Іспанії та є важливим гравцем на глобальному ринку АТМ. Її продукти та послуги застосовуються в різних аспектах управління повітряним рухом, включаючи управління повітряним простором, аеропорти та системи зв'язку.

Ключові особливості системи автоматизації повітряного руху Indra:

- а) Інтеграція та автоматизація - система Indra забезпечує високий рівень інтеграції та автоматизації всіх процесів управління повітряним

рухом. Це дозволяє знизити ймовірність помилок та забезпечує ефективне керування повітряними шляхами.

- б) Прогнозування погоди - однією із ключових характеристик системи Indra є здатність інтегрувати дані про погоду у процеси прийняття рішень. Це дозволяє адаптувати маршрути і керувати повітряними шляхами в залежності від кліматичних умов, що змінюються.
- в) Системи зв'язку - Indra надає широкий спектр систем зв'язку, що забезпечують надійне спілкування між повітряними контролерами, льотним складом та аеропортами. Це забезпечує безпеку та координацію повітряного руху.
- г) Оптимізація маршрутів - система автоматизації Indra також надає інструменти для оптимізації маршрутів та керування трафіком. Це дозволяє скоротити витрати на паливо та знизити негативний вплив авіації на навколишнє середовище.
- д) Забезпечення безпеки - безпека повітряного руху – пріоритетний напрямок діяльності Indra. Її системи автоматизації забезпечують моніторинг у реальному часі та попередження про можливі небезпеки, такі як близькі зближення та зіткнення.
- е) Сумісність - система Indra сумісна з іншими системами АТМ, що дозволяє інтегрувати їх у вже існуючі інфраструктури та забезпечує максимальну ефективність.

Переваги системи автоматизації повітряного руху Indra:

- а) Перевірена стабільність і продуктивність системи;
- б) Зменшує технічні та графікові ризики;
- в) Уникає передчасного технологічного старіння;
- г) Забезпечує економічно ефективний шлях зростання;
- д) Забезпечує довговічність підтримки;
- е) Легка інтеграція обладнання, наданого клієнтом;
- ж) Уникає необхідності розробки апаратного та програмного забезпечення;

- з) Спрощує обслуговування, логістику та підтримку;
- и) Забезпечує високонадійну систему;
- к) Зменшує час простою системи за рахунок резервування;
- л) Спрощує навчання диспетчерів і технічного обслуговування;
- м) Дозволяє вставляти технологію середнього віку без перепроєктування;
- н) Нові функції можуть бути додані економічно ефективно;
- о) Зменшує кінцеву вартість загального життєвого циклу системи.

### **Селекс ЕС (Selex ES).**

Selex ES, компанія Finmeccanica, є міжнародним лідером у сфері електронних та інформаційних технологій для оборонних систем, аерокосмічної галузі, даних, інфраструктури, безпеки та захисту земель, а також стійких розумних рішень.

Технологічні інновації та предметні знання Selex ES надають операторам аеропортів єдину цілісну перевірену експертизу для надання інтегрованих рішень для аеропортів, які покращують ефективність і покращують досвід пасажирів. Використовуючи свої можливості в автоматизації, IT-послугах, безпеці та безпеці, Selex ES пропонує рішення у сферах обробки багажу, безпечного зв'язку, безпеки та управління повітряним рухом.

Selex ES співпрацює зі своїми клієнтами, щоб надати конкретні системи або готові рішення, які забезпечують ефективність роботи та гарантують покращену продуктивність, надійність, безперервність обслуговування та ефективність.

Selex ES — це глобальна компанія з 17 700 співробітниками, доходом понад 3,5 мільярда євро, основними підприємствами в Італії та Великобританії та потужними компаніями в США, Німеччині, Туреччині, Румунії, Бразилії, Саудівській Аравії та Індії.

Безпека: комплексні рішення, які асимілюють дані з відеоспостереження, контролю доступу, пристроїв захисту від вторгнень і кібербезпеки для забезпечення повної оперативної картини.

Системи обробки багажу (Рис.2.1)



Рисунок 2.1 - Обробка багажу: MBHS, сортувальник високої пропускної здатності на основі технології поперечної стрічки

Selex ES пропонує комплексну платформу продуктів для інтегрованого управління як фізичними процесами, так і інформаційними потоками:

- а) Автоматизація реєстрації багажу – станції реєстрації;
- б) Обробка та управління потоками багажу, що прибуває та відбуває;
- в) Ідентифікація багажу – зчитування штрих-коду та RFID;
- г) HBS (hold baggage screening) – система контролю безпеки багажу;
- д) BHS (baggage handling system) – маршрутизація багажу для вихідних рейсів;
- е) EBS (early baggage storeing) – зберігання ранньо зареєстрованого багажу;
- ж) Повернення багажу – перенаправлення багажу прибулим пасажиром;
- з) Відстеження та відстеження (Т&Т) – звітування та виготовлення маніфесту вантажу;
- и) Системи керування транспортними потоками;
- к) Системи нагляду;
- л) Інформаційні системи розкладу рейсів;
- м) Системи моделювання та моделювання;
- н) MBHS (multi-sorting baggage handling system) і MTTTS (multi-sorting tilt tray system) представляють два інноваційні рішення, розроблені Selex ES для ринку систем обробки багажу.

## **Організація повітряного руху**

Пропонуючи широкий спектр послуг, Selex ES допомагає забезпечити безпечний, швидкий і ефективний потік повітряного руху, безпеку людей і товарів, а також ефективний обмін інформацією між операторами для клієнтської бази, що охоплює понад 150 країн.

Selex ES надає широкий спектр систем і масштабованих рішень для управління повітряним рухом, від центрів управління повітряним рухом на маршруті та заході на посадку до симуляційних і навчальних центрів, а також від основного і вторинного радарів Mode-S і метеорологічних радарів до наземних станцій ADS-B. до систем мультилатерації великої зони.

SATCAS (стандартна система автоматизації управління повітряним рухом) — це останнє покоління систем орбіти управління повітряним рухом Selex ES, яке об'єднує широкий спектр продуктів і інструментів для відповідності різноманітним експлуатаційним вимогам і середовищам управління повітряним рухом, починаючи від великих, загальнонаціональних, маршрутних районних диспетчерських центрів до диспетчерських пунктів малого підходу.

### **Диспетчерський зв'язок**

Понад 30 років Selex ES є лідером у постачанні систем «під ключ» для голосового зв'язку та передачі даних між пілотом і диспетчером для забезпечення ефективного управління повітряним рухом.

Діапазон можливостей Selex ES у наземних системах управління повітряним рухом охоплює проектування, виробництво та маркетинг широкого спектру обладнання та інтегрованих систем для встановлення в різних наземних центрах управління. Компанія пропонує продукти та системи для задоволення потреб зв'язку «земля-повітря» (голосу та даних), спостереження та управління мережею.

Базові радіостанції третього покоління Selex ES надають клієнтам багаторежимну систему зв'язку, здатну спілкуватися за допомогою різних режимів голосу та даних одночасно. Це дозволяє підвищити ефективність роботи відповідно до стандарту, встановленого Міжнародною організацією цивільної авіації (ICAO).

## **Наземні комунікації**

Selex ES надає безпечні та стійкі комунікаційні рішення для підтримки як наземної логістики аеропорту (послуги з технічного обслуговування, послуги багажу, заправка літаків, послуги на пероні, пересування в аеропорту), так і наземної діяльності в надзвичайних ситуаціях і безпеки (пожежні команди, поліція та операції безпеки).

Серед іншого, за допомогою мультитехнологічної наземної мережі зв'язку Selex ES можна реалізувати такі функції:

- а) Передача голосу та даних;
- б) Позичонування ресурсів у реальному часі (як транспортних засобів, так і людей);
- в) Координація груп;
- г) Підтримка критично важливих додатків.

Платформа інтеграції CSP-Perseus дозволяє новій технології працювати разом із існуючими мережами, створюючи більш ефективне рішення та зберігаючи поточну інфраструктуру. Нова мережа TETRA може бути інтегрована з існуючою застарілою інфраструктурою або з іншими технологіями, такими як фіксована або мобільна телефонія, WiFi або VoIP; Впровадження широкопasmового зв'язку (LTE або WiMax тощо) може слідувати такому ж еволюційному підходу.

## **Системи безпеки аеропорту**

Selex ES надає комплексні рішення безпеки, які асимілюють дані з відеоспостереження, контролю доступу, пристроїв захисту від вторгнень і кібербезпеки для забезпечення повної операційної картини:

- а) Управління доступом;
- б) Відеоспостереження та охорона периметра;
- в) Розпізнавання номерних знаків;
- г) Кібербезпека.

## **2.2. Огляд існуючих систем та технологій, що використовують штучний інтелект**

На даному етапі розвитку штучного інтелекту (ШІ) можна спостерігати, як різні сфери нашого життя вже встигли пристосуватися до наявності цього допоміжного важеля. Основною метою розвитку штучного інтелекту прийнято наступне: створення машин з інтелектом, який можна порівняти з інтелектом людей. Такий висновок було сформульовано на початку п'ятдесятих років ХХ століття, і з того часу формулювання зберігається. Цілі застосування ж можуть змінюватись в залежності від сфери та потреб, за якими було введено використання ШІ.

Очевидно, що такий плідний розвиток ШІ не повинен обійти й авіаційну сферу. Разом з розвитком функціоналу ШІ нам відкриваються колосальні можливості щодо покращення аеронавігаційного обслуговування та підтримки безпеки повітряного руху, що є однією з головних цілей авіаційної промисловості.

Значною мірою розвиток штучного інтелекту впливає на багато сфер нашого життя. Кожного дня ми стикаємось з ШІ, хоч це й не завжди помітно. Ідея створення машин з інтелектом, які б сягали рівня людського інтелекту, була сформульована ще у 50-х роках ХХ століття і продовжує бути актуальною й донині. Штучний інтелект знайшов своє застосування в різних сферах, але його цілі можуть змінюватись залежно від потреб і конкретної галузі. Однак, авіаційна сфера, безумовно, не може залишитись осторонь від цього плідного розвитку. Завдяки новим можливостям, які відкриваються разом з розвитком ШІ, аеронавігаційне обслуговування та безпека повітряного руху можуть значно покращитись.

У цьому розділі ми розглянемо різні проекти розробки систем штучного інтелекту для їх використання в аеронавігації. Ці проекти отримали фінансування від підприємства SESAR (The Single European Sky ATM Research) в рамках дослідницької та інноваційної програми Європейського Союзу Horizon 2020. Основна мета нашої роботи - провести аналіз систем і класифікацію їх за



різними категоріями, такими як тип системи, використані методи та технології, складність та рівень інтелектуалізації, а також представити їх переваги та недоліки.

Сьогодні людство на порозі нового етапу розвитку ШІ - створення гнучкості системи. Це здатність обробляти широку категорію завдань та середовищ без подальшого втручання людини: готовність справлятися з ситуаціями, які не могли бути передбачені, які нараховують у собі безліч «невдомих невизначеностей». Цей етап також називається широким узагальненням, йому передують етапи відсутності узагальнення (система не має новизни, лише математичний перебір варіантів) і локальне узагальнення, або «надійність» (здатність системи обробляти нові точки з відомого розподілу лише для одного завдання).

Новий етап – нова концепція. Гнучкість, оперативність, розподіл, стійкість – головні професійно важливі якості авіадиспетчера. Завдяки впровадженню технологій ШІ можна обминути недоліки людського фактора, такі як стрес, втома, виснаження та подібні.

Існує три напрями в аеронавігаційному обслуговуванні (рис. 2.2), впровадження систем штучного інтелекту в які могло б підвищити продуктивність та вдосконалити сам механізм роботи: організація повітряного руху (далі ОНР), обслуговування повітряного руху (ОПР) та безпека польотів.



Рисунок 2.2 - Напрямки використання ШІ в аеронавігаційному обслуговуванні

### ***2.2.1 Організація повітряного руху***

Організація повітряного руху (ATM-air traffic management) - це комплекс бортових та наземних функцій, що надаються для безпечного та ефективного руху повітряного судна на всіх етапах польоту. Складовими частинами (напрямами) є: організація повітряного простору та організація потоків повітряного руху. Хороша організація роботи - запорука успішного її виконання. Головними орієнтирами та цілями роботи є підтримання ефективності, економічності та регулярності польотів повітряних суден.

Служби створені для сприяння безпечному, упорядкованому та прискореному потоку повітряного руху, а також підтримці заявленої пропускної спроможності кожного з аеропортів. Управління перевантаженнями всередині робочої зони, підвищення ефективності та економічності при плануванні маршруту польоту та складанні плану польотів - важливі завдання авіації, які вимагають негайного вирішення.

Далі представлені три проекти, розробка та застосування яких мають пряме відношення до організації повітряного руху: COPTRA, INTUIT та DART.

#### **Проект COPTRA**

Учасники проекту: CRIDA (координатор проекту), Євроконтроль, Католицький університет Лувену, Boeing Research Europe, Стамбульський технічний університет.

COPTRA сконцентрувалася на розробці ефективної методології для ймовірнісної оцінки попиту на повітряний рух з використанням прогнозів траєкторії польоту в середовищі, що базується на траєкторіях польотів (Trajectory Based Operations, TBO). Нижче наведено методологічну структуру проекту (рис. 2.3).

COPTRA розглядає дуже специфічний аспект TBO, пов'язаний зі здатністю підтримувати балансування попиту та пропускної спроможності, а також планування повітряного руху за допомогою ідентифікації та управління невизначеністю прогнозування (як на траєкторії, так і на рівнях трафіку).

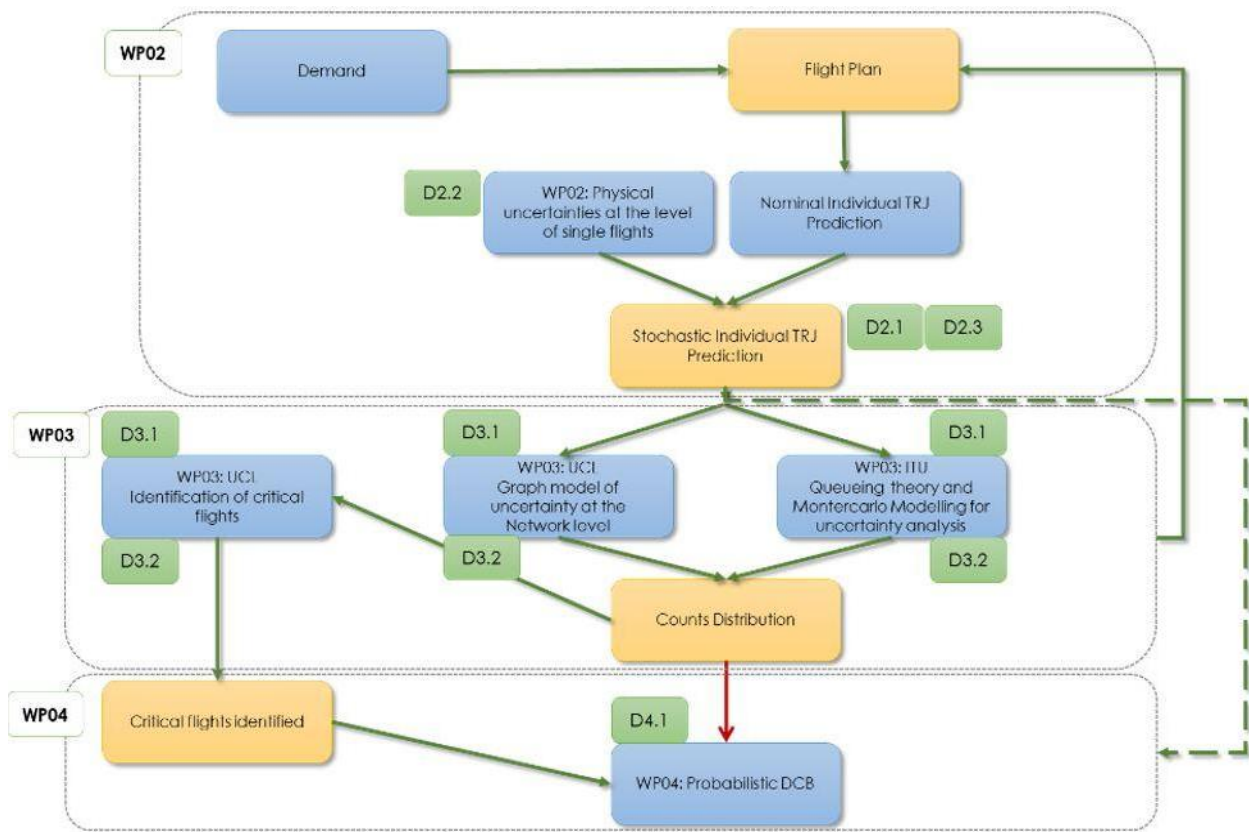


Рисунок 2.3 - Методологічна структура проекту

Для того, щоб отримати розподіли щодо джерел невизначеності, що розглядаються, і бути послідовними в результатах, вибираються і застосовуються конкретні пари відправлення-призначення, які об'єднуються в групи. На рис. 2.4 показаний приклад вибору правильної підмножини траєкторій шляхом кластеризації. У процесі кластеризації дорожні точки, що найбільш часто зустрічаються, спостерігаються на траєкторіях FTFM (Filed Tactical Flight Model), так що виходить номінальна траєкторія для зазначеної пари джерело-пункт призначення.

Також авіадиспетчери можуть точніше судити про ймовірність появи точки доступу, ґрунтуючись на покращеному знанні ситуації, оскільки ймовірність підрахунку кількості пасажирів, пов'язана з трафіком у їхньому секторі, дозволяє їм знати ймовірність попадання рейсів в сектор у конкретні часи. Таким чином, кількість помилкових гарячих точок, як очікується, значно скоротиться.

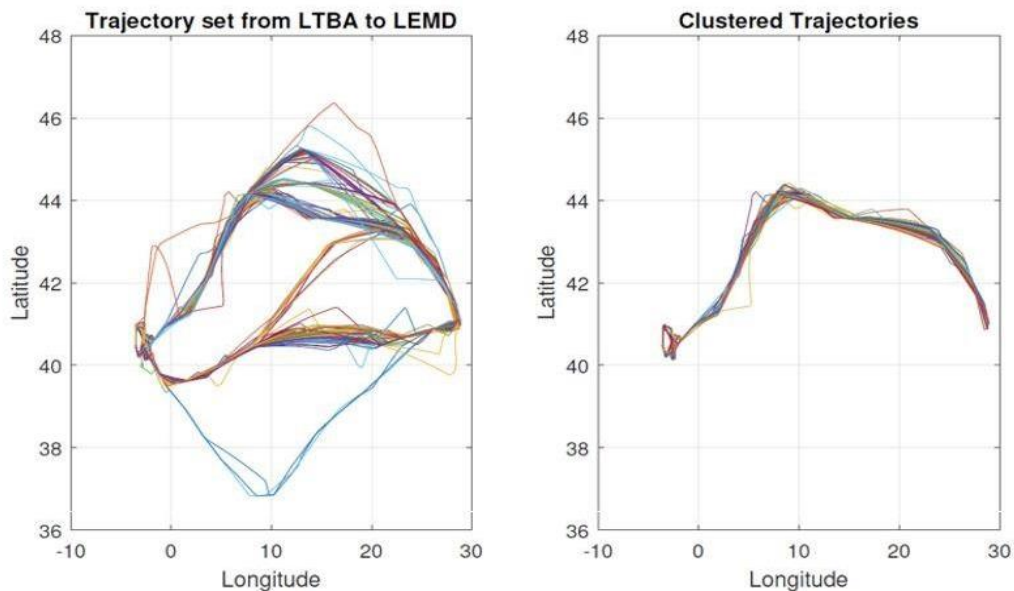


Рисунок 2.4 - Приклад кластеризації траєкторій: ліворуч - траєкторії польотів Стамбул-Мадрид, праворуч - кластеризації траєкторій (вибір правильної підмножини траєкторій)

Ціль моделей, обговорених вище, звичайно, полягає в тому, щоб дозволити обчислити і рекомендувати дії, що ведуть до оптимальності в організації повітряного руху. Завдання, безперечно, важке, і навіть концепція «оптимальності» не однозначна, оскільки різні організації, що займаються управлінням повітряним рухом (авіакомпанії, диспетчера, клієнти тощо) не обов'язково мають один і той же набір пріоритетів. Тим не менш, ТВО спиратиметься на обчислення траєкторій на рівні окремих повітряних суден, що веде до надійної та високоефективної мережі повітряного руху. Деякі інструменти в галузі дослідження операцій вже вплинули на АТМ. Яскравим прикладом є концепція ground-holding (відстрочення польоту, щоб уникнути пробок у повітрі в пункті призначення).

Таким чином, з цими результатами можна зробити висновки: підхід COPTRA може прогнозувати набагато краще, ніж еталонний сценарій з тимчасовим горизонтом прогнозування 3 години до вильоту і може більш точно прогнозувати гарячі точки, ніж поточний еталонний сценарій. Однак перевірка алгоритмів та інструментів, розроблених у COPTRA, обмежена в тому сенсі, що лише обмежена кількість секторів та зразків трафіку була розглянута. Використані алгоритми повинні бути додатково перевірені в оперативно-реалістичному середовищі для забезпечення їх точності.

Також на даному етапі складно оцінити конкретну технічну архітектуру, в якій має бути встановлена COPTRA. Необхідні подальші дослідження для систематичної оцінки теоретичних властивостей, можливостей удосконалення та практична здійсненність розроблених моделей. Підходи, які використовувалися це в першу чергу машинне навчання - для оцінки передбачуваної крейсерської швидкості літака, коли він ще піднімається, також пошук та оптимізація даних. Застосовні технології цього проекту: експертні системи, індуктивне логічне програмування (ILP) та ймовірнісне програмування.

### **Проект INTUIT**

Учасники проекту: Nommon Solutions and Technologies (Координатор), Просунуті групи логістики, Fraunhofer Gesellschaft, Політехнічний університет Мадрида, Транспорт та мобільність Левен.

INTUIT - це дослідницький проект SESAR 2020, в якому досліджено потенціал візуальної аналітики та машинного навчання для покращення розуміння компромісів між ключовими показниками ефективності АТМ (КРА, Key Performance Areas: безпека, довкілля, пропускна здатність, ефективність) та виявлення причинно-наслідкових зв'язків між показниками (рис. 2.5).

Дослідження в рамках проекту проходило у формі трьох тематичних досліджень (CS, Case Study):

CS-1: вплив окремих показників на вибір маршрутів авіакомпаній та їх вплив на продуктивність АТМ.

У цьому випадку моделі дослідження були розроблені для прогнозування трафіку на етапі стратегічного планування, коли немає доступного плану польоту, щоб дізнатися, який маршрут вибере авіакомпанія. Машинне навчання використовувалося для аналізу записаних даних, щоб визначити критерії ухвалення рішень авіакомпаній.

Ці критерії можуть бути використані для вибору прогнозованого маршруту також у разі змін умов навколишнього марення. Це дозволяє європейському мережевому менеджменту скласти більш стабільний план використання для повітряного простору з меншою кількістю адаптацій, зроблених у короткостроковій перспективі.

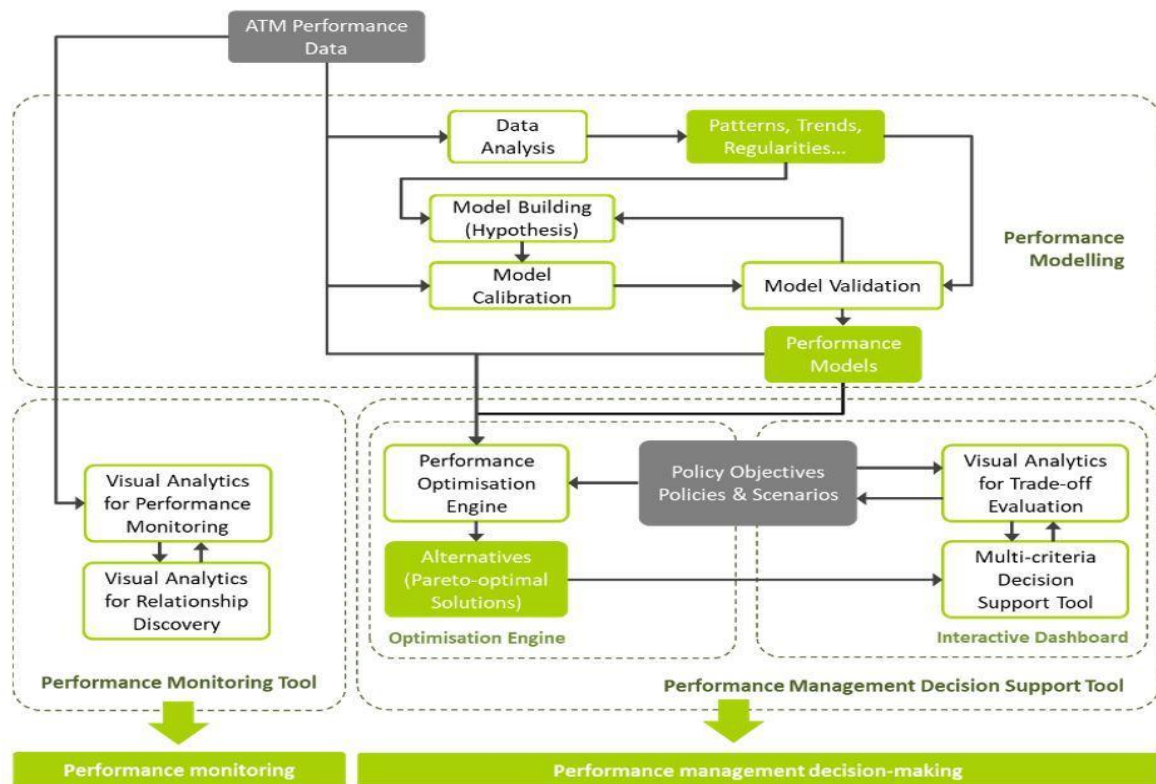


Рисунок 2.5 - INTUIT: загальна концепція проекту

CS-2: джерела неефективності польоту маршрутом.

Тут досліджено причини неефективності маршрутів у європейській мережі повітряного руху та їх вплив на продуктивність. Модель машинного навчання була навчена з метою оцінки характеристик певної зони повітряного простору. Новизна цієї оцінки у тому, що вона заснована не так на глобально розрахованих показниках ефективності, але в взаємозв'язках, виявлених з допомогою методів машинного навчання. Інакше кажучи, модель змогла виявити шаблони, які раніше були відомі і досі не враховувалися щодо ключових показників ефективності.

CS-3: багатомасштабне представлення показників ефективності ГПР.

Щодо досліджень, які можуть бути використані в SESAR IR, основними можливостями є наступні:

- Керована даними характеристика поведінки користувачів повітряного простору;
- Ідентифікація та характеристика факторів впливу на продуктивність за допомогою методів, керованих даними;

- в) Оперативна оцінка ПАНО (Постачальник аеронавігаційного обслуговування / Air Navigation Service Provider, ANSP) з дезагрегованими даними;
- г) Панель моніторингу продуктивності, що поєднує інтерактивну візуалізацію з аналітичними функціями;
- д) Синергізм з APACHE (Assessment of Performance In Current ATM Operations and New Concepts of Operations for Its Holistic Enhancement): поєднання заснованих на моделях і керованих даними підходів для оцінки впливу на продуктивність;
- е) Синергізм з AURORA (Advanced User-Centric Efficiency Metrics For Air Traffic Performance Analytics): покращені KPI (Key Performance Indicator, ключовий показник).

Отже, очевидно, що в проекті використовувалося машинне навчання, було досягнуто мети щодо розуміння причинно-наслідкових зв'язків між драйверами продуктивності та показниками ефективності, з розробки набору алгоритмів візуальної аналітики для отримання даних про продуктивність АТМ.

Проекту вдалося впоратися з проблемою обчислювальних складнощів за допомогою інтелектуальної бази даних та систем когнітивної графіки. Проект працює на основі теорії розуму, яка за допомогою статичного підходу шукає та оптимізує отримані дані. Крім того, знайомившись з додатковими відеоматеріалами, можна зробити висновок, що вся аналітична діяльність виконується машиною, людина лише контролює та спостерігає за внесеними даними та кінцевими показниками. А це означає, що відсоток інтелектуалізації менший.

### **Проект DART**

Учасники проекту: Пірейський університет (координатор), Fraunhofer Gesellschaft, Boeing Research and Technology Europe (BRTE), CRIDA.

Наступний проект DART був мотивований тим фактом, що система організації повітряного руху (АТМ), що діє в усьому світі, досягла своїх меж з точки зору передбачуваності, ефективності та рентабельності. Основою проекту



є дослідження з передбачення траєкторії польоту повітряного судна з огляду на складність мережі ОПР.

Прогнозування траєкторії - це функціональність, яка є основою більшості додатків АТМ. Пророцтва зазвичай використовуються для планування, усунення конфліктів, упорядкування та ефективного управління трафіком.

Також DART підкреслює роль сучасних методів візуалізації для вивчення даних зі зіставлення траєкторій (рис. 2.6), реалізованих у програмній системі V-Analytics, розробленій Fraunhofer IAIS. Нові функції та методи постійно включені до системи відповідно до потреб різних проєктів. Таким чином, прогнози мають дозволяти оцінювати загальний стан системи та вплив трафіку на окремі траєкторії, у тому числі експлуатаційні обмеження.

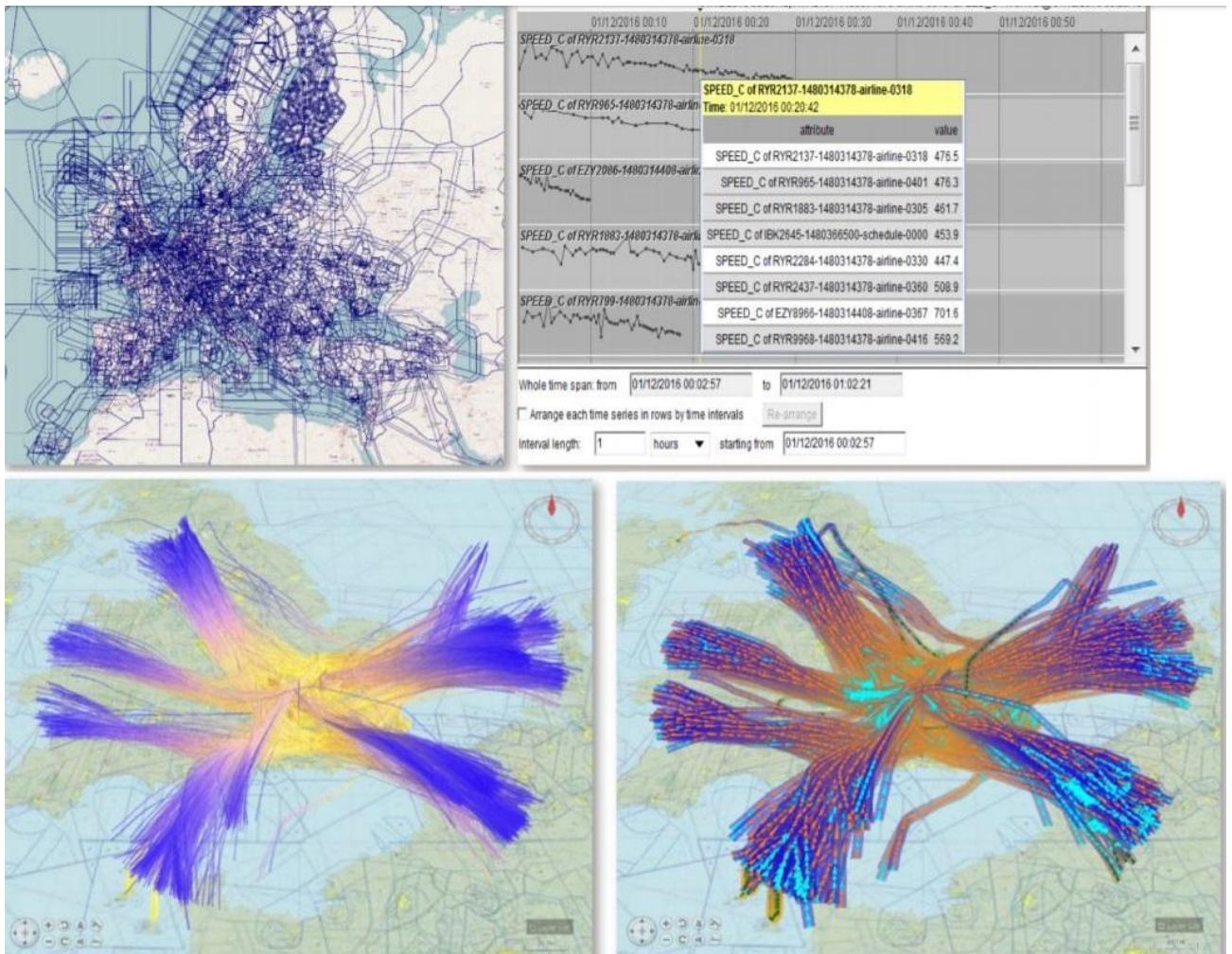


Рисунок 2.6 - Інструменти для візуального дослідження контекстних даних, таких як схеми секторізації повітряного простору (вгорі зліва) та різні типи даних про траєкторію польоту літака, такі як фактичні маршрути та плани польоту (нижній ряд)



Головними перевагами даного проекту є: підвищена передбачуваність, зменшені затримки завдяки ранньому вирішенню проблем з DCB (Demand Capacity Balance), просування інструментів спільного прийняття рішень та планування та велика впевненість щодо розташування кожного літака у будь-який момент часу також покращить безпеку як планування ресурсів.

Однак система не виконує попередньої обробки даних, такої як інтерполяція і повторна вибірка. Якщо для аналізу потрібна деяка попередня обробка, це можна зробити за допомогою зовнішніх інструментів, а результати можна завантажити до V-Analytics для візуалізації та дослідження.

Цей проект розроблено на основі машинного навчання з вузькою/обмеженою пам'яттю головним методом роботи якого є збір даних та їхня візуалізація. У ньому використовувалися технології, такі як нейронні мережі та індуктивне логічне програмування.

### ***2.2.2. Обслуговування повітряного руху***

Обслуговування повітряного руху (Air Traffic Services, ATS) - це загальний термін, що означає у відповідних випадках польотно-інформаційне, консультативне, диспетчерське обслуговування повітряного руху, а також аварійне сповіщення. Особливо потенціал розвитку III варто відзначити у допомозі диспетчерам (ATC-air traffic controller).

У міру розвитку та навчання механізмів Air Traffic Control Officer (ATCO) вони зможуть надавати послуги консультування для АТС, тим самим не лише своєчасно інформувати про динамічні зміни щодо даних про атмосферні перешкоди, нестійкість трафіку та використання повітряного простору в цілому. Також допоміжним функціоналом може виступати розпізнання мови, синхронізація траєкторій руху підходу (вильоту, прильоту) з аеродромним трафіком, прогнозування найбільш оптимальної злітно-посадкової смуги.

Нові парадигми III можуть розширити можливості прогнозування та прийняття рішень у складних та невизначених умовах. Сфера обслуговування повітряного руху потребує надання оптимізованих ситуаційних стратегій, які

будуть засновані на історичних та реальних поточних даних, та можуть бути швидко переплановані у разі збою.

### Проект MALORCA

Одним із проектів, який був розроблений під керівництвом SESAR і має пряме відношення до одного із завдань необхідних рішень, є проект MALORCA (Machine Learning Of Speech Recognition Models For Control Assistance).

Учасники проекту: Universität des Saarlandes (USAAR), Фонд Інституту Досліджень IDIAP, Аеронавігаційне обслуговування Чеської Республіки, Austrocontrol, DLR (Координатор проекту).

Метою проекту MALORCA (машинне навчання моделей розпізнавання мови для допомоги диспетчера) була розробка адаптації інструментів розпізнавання мовлення для використання в аеропортах. Машина автоматично вивчає місцеві моделі мовних сигналів і диспетчерів з радіолокаційних та мовних даних, які автоматично кодуються в програмне забезпечення для розпізнавання.

MALORCA розробила новий підхід, який раніше не застосовувався в галузі розпізнавання автоматичного мовлення, оскільки алгоритми MALORCA засновано на двох незалежних джерелах інформації: (1) акустична інформація посилюється за допомогою (2) інформації, вилученої з командних гіпотез прогнозування (з використанням ситуаційного контексту). Основні концепції системи представлені на рис. 2.7.

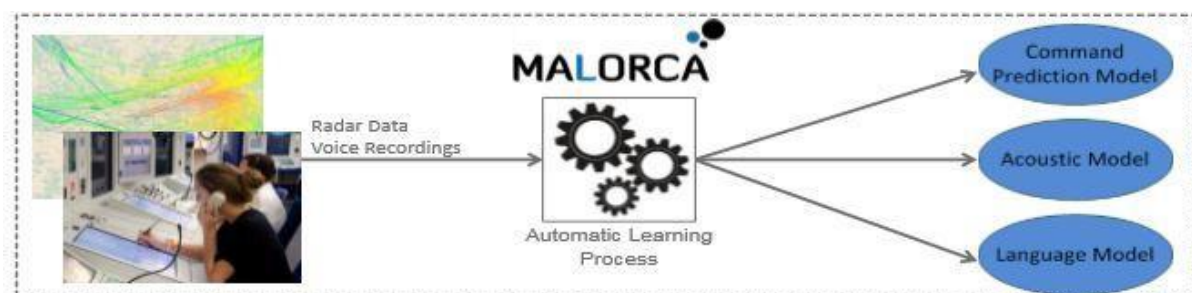


Рисунок 2.7 - Основні концепції системи

Сферу діяльності проекту було сфокусовано на зоні підходу Відня та Праги, які є двома середніми за розмірами європейськими аеропортами. Понад 100 годин радіолокаційних даних та висловлювань від пілота та диспетчерського

зв'язку для Відня та для празької зони заходу на посадку. Проект Active Listening Assistant (AcListant®) показав, що Assistant Based Speech Recognition (ABSR) є потенційним рішенням для зниження навантаження на диспетчерів, схематичне представлення системи якого показано на рис. 2.8 проекту довели, що навіть голосові записи із частотою 8 кГц не є перешкодою для досягнення цілей. Початковий базовий ABSR було створено як Праги, так Відня.

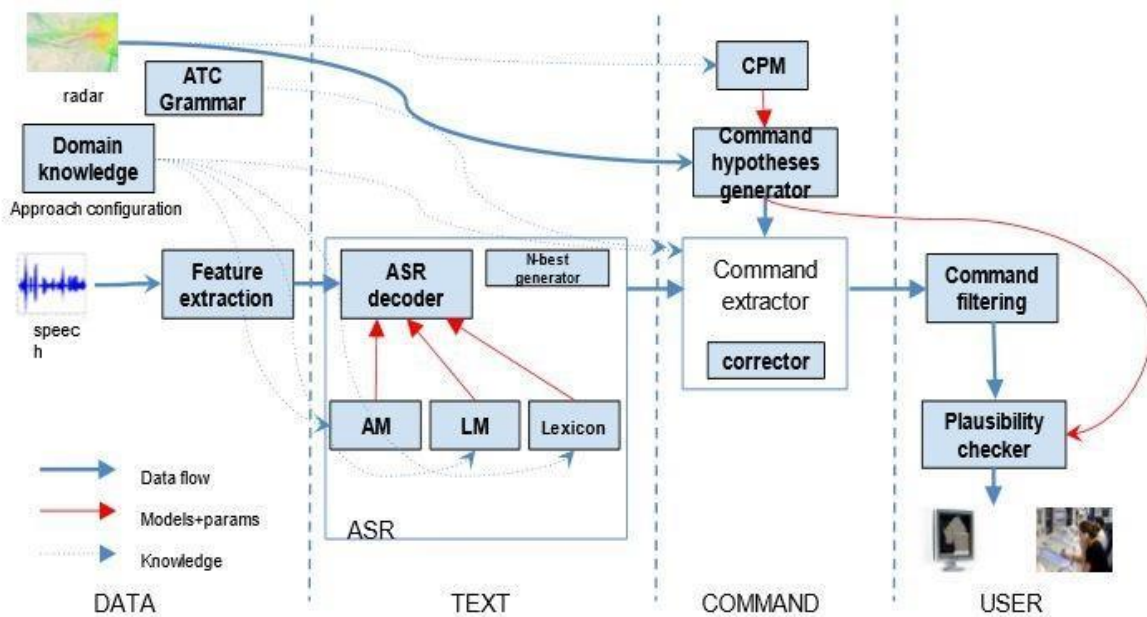


Рисунок 2.8 - Схематичне уявлення системи MALORCA

Робоча група проекту досягла 80%-го рівня розпізнавання команд у Празі і, відповідно, 60%-го рівня у Відні. Потім група додала 25% даних, що не піддаються перекладу, для поліпшення моделей через систему машинного навчання. Продуктивність системи значно збільшилась. За підсумками, вони показали, що навіть за невеликих обсягів транскрипційних даних можна досягти майже 92% точності розпізнавання команд.

Це наочно демонструє розрив у частоті помилок розпізнавання команд між Прагою (~0,6% помилок розпізнавання команд) та Віднем (~3,2% помилок розпізнавання команд). На даний момент доступна автоматична транскрипція всіх наборів мовних даних (близько 22 години чистої мови для Відня та Праги), тобто. висновок на розпізнавальну мову без ручної взаємодії, автоматична транскрипція автоматично фільтрується.

Головними перевагами проекту є як результат визначення структури, що дозволяє моделювати і вимірювати відхилення у фразеології з боку диспетчера. Така структура може бути важливою річчю у розумінні та вимірі робочого навантаження диспетчера (тобто дозволяє краще виконувати роботу управління та оптимізації у своїх повсякденних завданнях). А також перевага у прогнозуванні команд диспетчера, які можливі у використанні в поточній ситуації (тобто облік ситуаційного контексту), де радіолокаційні дані використовуються як другий датчик.

З іншого боку, в даний час сучасні моделі розпізнавання мови вимагають ручної адаптації до місцевого середовища, наприклад, через відхилення від стандартної фразеології. Одна з основних причин, що перешкоджають впровадженню більш високих рівнів автоматизації в управління повітряним рухом, - це інтенсивне використання розмовної мови як природного способу комунікації. Канал передачі даних буде ще одним засобом комунікації з його відомими перевагами та недоліками, але передбачається, що канал передачі даних ніколи повністю не замінить мовний зв'язок.

За своїм функціоналом цей проект може потрапляти під такі класифікації: обмежена пам'ять (оскільки механізм здатний отримувати уроки з історичних даних для прийняття рішень) та штучний вузький інтелект (оскільки машина може робити лише те, на що вона запрограмована і має вузький, обмежений діапазон компетенцій). Система застосовує такі технології/підходи для вирішення поставлених завдань: Robotic Process Automation (RPA), Natural Language Processing (NLP) та Еволюційні алгоритми (EA).

З точки зору людських зусиль, розроблений алгоритм машинного навчання значно знизив зусилля транскрипції, проте ручне зусилля для попередньої обробки даних радіолокаційних все ще необхідне. Тому проект ще потребує подальших випробувань та оновлень, щоб підвищити ступінь його інтелектуалізації. Можна лише припустити, що на цьому етапі ті самі 25% вручну внесеної нетраскрибельної інформації є остаточною внеском людини у роботі самої машини. Решта ж 75% - робота системи.

### 2.2.3. Безпека польотів

Першими стратегічними цілями Міжнародної організації цивільної авіації (ІСАО) є безпека польотів та авіаційна безпека. Головним чином це стосується запобігання зіткненням повітряних суден між собою у повітрі та з перешкодами на площі маневрування. Протягом наступних 15 років очікується ще більший попит та збільшення повітряного руху, тому, якщо нинішні методи не будуть оновлені, швидке збільшення повітряного руху може поставити під загрозу високий рівень безпеки польотів.

#### Проект SafeClouds

Партнери: Консорціум SafeClouds складається з повної групи зацікавлених сторін в авіації, що координується Innaxis за участю п'яти авіакомпаній (Air Europa, Iberia, Vueling, Norwegian та Pegasus), експертів з ІТ-інфраструктури (Fraunhofer ITWM та Tadorea), ANSP (LFV та ENAIR . -CRIDA, три університети (Університет Мюнхена, Університет Делфта та Університет Лінчепінгу), Євроконтроль та органи влади (EASA та AESA).

Проект SafeClouds був організований під керівництвом Євроконтролю, метою якого є підвищення безпеки польотів та збільшення пропускнуої спроможності ЗПС шляхом розробки засобів машинного навчання. Команда розробила спеціальну платформу даних ШІ, DataBeacon (рис. 2.9), повне хмарне середовище розробки ШІ, здатне розширюватися зі зростанням обчислювальних вимог.



Рисунок 2.9 - Візуальне представлення DataBeacon

Оскільки ШІ може автоматично прогнозувати потенційні загрози безпеці в режимі реального часу, він є ключовим інструментом підтримки своєчасних реакцій. Методи та алгоритми адаптовані та протестовані для забезпечення ефективності у кожному сценарії для збереження безпеки: від нестабільних підходів до попередження про місцевість, втрат ешелону в повітрі до безпеки на злітно-посадковій смузі. Система надається практичний інформаційний аналіз ідентифікації небезпек в авіації.

Це досить складна проблемно-орієнтована експертна система, яка працює з безліччю локальних і мережових даних. Після їх обробки система визначає і класифікує рівень загрози/ помилок і після синтезування видає рішення з урахуванням динамічних даних.

### Проект Searidge

Проект Searidge розробив систему безпечного дистанційного керування аеропортом та повітряним рухом - цифрову вежу. За своїм образом це великий аеропорт, в якому надаються цифрові джерела даних та додатки, використання яких супроводжує підтримку прийняття рішень, контроль безпеки мережі, отримання своєчасних метеорологічних даних та цілодобовий контроль польотних даних.

Цифрова вежа – це технологічна платформа з інтегрованими інструментами підтримки експлуатаційних вимог та умов. Програмне забезпечення легко адаптується під певне робоче середовище та інтерфейс користувача. Такий підхід дозволяє забезпечити підтримку різних потреб як регіональних, і міжнародних аеропортів. Searidge надає свої послуги та працює над їх розповсюдженням уже понад десять років (рис. 2.10).

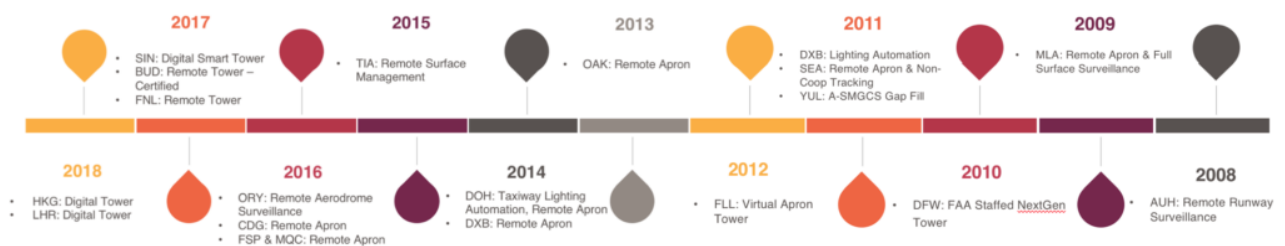


Рисунок 2.10 - Впровадження системи цифрової вежі

Система призначена для підтримки складних функцій при керуванні повітряним рухом та роботи аеропорту методом збирання, аналізу та обробки зібраного цифрового відеоматеріалу та зображень. Головними перевагами є можливість розширення зони аеропорту (додаткова ЗПС), надання консультацій з відеосистеми, гнучка конфігурація дисплея, панорамні види та багато іншого щодо техніко-економічної галузі.

Цифрова вежа - це експертна система, що трансформується, в основі якої лежить пошук і оптимізація методом збору і синтезу даних. Застосування технологій комп'ютерного бачення, машинного навчання, мережі прийняття рішень та платформи Ambient Intelligence дозволяють якнайкраще виконувати поставлені завдання.

Усі системи штучного інтелекту за рівнем можливості розв'язання завдань можна класифікувати на штучний вузький інтелект, штучний загальний інтелект та штучний суперінтелект. Розглянуті системи штучного інтелекту відносять до вузького штучного інтелекту.

Відповідно до класифікації ШІ за рівнем заміни людських можливостей всі системи поділяються на:

- а) Reactive (реактивні машини);
- б) Limited memory (обмежена пам'ять);
- в) Theory of mind (теорія розуму);
- г) Self-aware (самосвідомість).

Усі розглянуті у цьому розділі системи ставляться до систем Limited memory, які використовують пам'ять навчання і вдосконалення своїх відповідей. Ці системи здатні отримувати уроки з історичних даних для прийняття рішень. Вони самостійно вивчають величезний потік даних, беруть за основу і формують із них еталонну модель для вирішення майбутніх проблем.

Однак ці системи використовують різні підходи та технології організації ШІ. Аналізуюча система COPTRA дозволяє спрогнозувати траєкторію за допомогою інтеграції моделей невизначеності у системи планування. Експертна

система INTUIT спрямована на аналітичне моделювання продуктивності ОПР засобом збору інформації про фактори, що впливають на політ маршрутом.

Нейронні мережі DART призначені лише для предметного пошуку джерел неефективності польотів (затримки, економічно збиткові перельоти) та їх візуалізації. Проект MALORCA як евристичну систему орієнтовано на машинний переклад. Експертна система SafeClouds працює з динамічними даними та призначена для пошуку та своєчасного попередження про загрози на всіх етапах польоту. У таблиці 2.1 наведено узагальнену характеристику підходів та технологій ШІ, що використовуються в проектах для вирішення аеронавігаційних завдань.

Таблиця 2.1 - Підходи та технології організації ШІ у поточних проектах, що реалізують аеронавігаційне обслуговування

Проект	Тип системи	Технології
COPTRA	Машинне навчання	Експертні системи, Індуктивне логічне програмування, ймовірнісне програмування
INTUIT	Машинне навчання та теорія розуму	Статичний підхід, розподілений ШІ
DART	Машинне навчання	Нейронні мережі, індуктивне програмування
MALORCA	Евристична система	Robotic Process Automation (RPA), Natural Language Processing (NLP), Еволюційні алгоритми (EA)
SafeClouds	Експертна система	Ambient Intelligence (AmI), технології комп'ютерного бачення
Searidge	Експертна система, що трансформується	технології комп'ютерного бачення, машинного навчання, мережі прийняття рішень та платформи Ambient Intelligence

На основі проведеного аналізу систем ШІ, що застосовуються на даний момент в аеронавігаційному обслуговуванні, зроблено висновок про відсоткове



співвідношення роботи виконуваної ШІ та людиною в рамках вирішення основного завдання кожного з проектів. Рис. 2.11 представляє це відсоткове співвідношення.

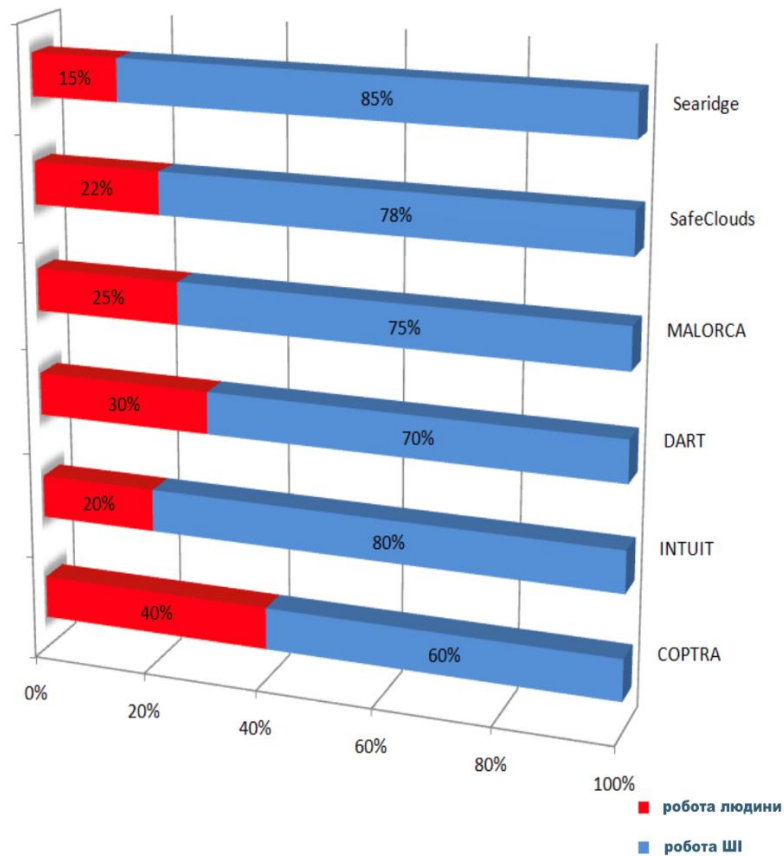


Рисунок 2.11 - Відсоткове співвідношення роботи виконуваної ШІ та людиною в рамках вирішення задачі проекту

#### 2.2.4. Системи штучного інтелекту в організації повітряного руху

Штучний інтелект (ШІ) має великий потенціал для революціонізації організації повітряного руху. Використання ШІ-систем може значно покращити безпеку та ефективність.

Наприклад, ШІ-системи можуть автоматизувати процеси управління повітряним рухом, що дозволяє приймати точні та ефективні рішення при плануванні руху повітряних суден. Крім того, вони можуть аналізувати великі обсяги даних та прогнозувати шляхи руху повітряних суден, виявляти можливі конфлікти та запропонувати варіанти їх уникнення. ШІ також може бути корисним в управлінні трафіком та розподілі ресурсів, що допомагає оптимізувати використання повітряного простору та зменшувати затримки.

Додатково, ШІ може створювати прогностичні моделі для передбачення змін у потоці повітряного руху, таких як погодні умови або технічні проблеми. Більш того, цей процес дозволяє операторам повітряного руху не тільки приймати своєчасні та обгрунтовані рішення для підтримки безпеки та ефективності польотів, але й визначати найбільш оптимальні шляхи вдосконалення цих процесів.

Наприклад, з використанням прогностичних моделей, оператори можуть аналізувати різні сценарії та знаходити оптимальні рішення для зменшення впливу непередбачуваних ситуацій на роботу повітряного руху. Таким чином, використання прогностичних моделей допомагає підвищити безпеку та ефективність польотів і забезпечує більше можливостей для розвитку та вдосконалення цієї галузі.

Однак, використання штучного інтелекту (ШІ) в організації повітряного руху поставляє перед собою не тільки технічні виклики, але й етичні та юридичні питання, пов'язані з приватністю даних, відповідальністю та безпекою систем. При впровадженні ШІ в організацію повітряного руху, необхідно ретельно розглядати всі аспекти, включаючи етичні, юридичні та технічні аспекти, щоб забезпечити ефективне використання ШІ з урахуванням безпеки авіації.

Врахування цих принципів сприятиме покращенню безпеки та надійності систем авіації, зробить їх більш ефективними та безпечними для всіх учасників галузі.

### **2.3. Переваги використання ШІ в аеронавігації**

Інтеграція штучного інтелекту в авіаційну безпеку приносить багато переваг галузі. Давайте розглянемо деякі з ключових переваг:

#### ***2.3.1. Розширені заходи безпеки***

Завдяки системам на базі штучного інтелекту, авіаційна промисловість має можливість завчасно виявляти потенційні ризики та приймати необхідні запобіжні заходи. Алгоритми штучного інтелекту, аналізуючи величезну кількість даних з різних джерел, здатні виявляти закономірності та аномалії, які

можуть вказувати на потенційні загрози безпеці. Такий підхід дозволяє забезпечити ранню реакцію та впровадження необхідних заходів безпеки, що створює безпечніше середовище для пасажирів та екіпажу.

### ***2.3.2. Прогнозне технічне обслуговування***

Алгоритми штучного інтелекту можуть аналізувати дані в режимі реального часу з систем літака, щоб передбачити потреби в техобслуговуванні. Відстежуючи продуктивність різних компонентів і систем, штучний інтелект може виявляти потенційні збої або несправності ще до їх виникнення. Таким чином, авіакомпаніям надається можливість ефективніше планувати технічне обслуговування, що сприяє скороченню незапланованих простоїв та підвищенню загальної ефективності роботи.

Додатково, штучний інтелект може забезпечувати детальний аналіз різних аспектів технічного обслуговування, таких як моніторинг стану обладнання, запобігання пошкодженням та покращення процедур обслуговування. Всі ці функції сприяють збільшенню безпеки та надійності авіаційних систем, зниженню витрат та поліпшенню задоволеності пасажирів.

### ***2.3.3. Покращена підтримка прийняття рішень***

Моделі штучного інтелекту можуть надавати підтримку прийняття рішень у режимі реального часу для пілотів і авіадиспетчерів. Аналізуючи численні фактори, такі як погодні умови, характеристики літака та затори, алгоритми штучного інтелекту можуть пропонувати оптимальні маршрути польоту, заходи на посадку та альтернативні маршрути. Це допомагає пілотам приймати обґрунтовані рішення, покращує обізнаність про ситуацію та сприяє безпеці та ефективності операцій.

Крім того, штучний інтелект може аналізувати інформацію з різних джерел, включаючи супутникові дані, метеорологічні прогнози і дані з аеропортів, для надання більш повної картини ситуації. Такі додаткові дані можуть допомогти пілотам приймати ще більш обґрунтовані рішення та оптимізувати свої операції.

В цілому, використання штучного інтелекту в авіації дозволяє покращити безпеку, ефективність та точність при прийнятті рішень.

#### ***2.3.4. Точне розслідування нещасних випадків***

Це надзвичайно важливо для забезпечення безпеки. У разі страшного нещасного випадку іскусствений інтелект може мати ключову роль у дослідженні величезних обсягів даних, щоб виявити фактори, що сприяли події. Завдяки аналізу даних з бортових самописців, систем управління повітряним рухом та інших джерел, моделі штучного інтелекту можуть допомогти слідчим перебудувати послідовність подій, що призвели до аварії.

Це, з свого боку, не тільки прискорює процес розслідування, але й надає цінну інформацію для вдосконалення протоколів безпеки та запобігання майбутнім подіям такого роду.

#### ***2.3.5. Виявлення зіткнень з птахами***

Зіткнення з птахами становлять значний ризик для авіаційної безпеки. Однак, завдяки розумовим алгоритмам штучного інтелекту, можна покращити прогнозування та виявлення зон з високою ймовірністю зіткнень з птахами. Штучний інтелект аналізує дані радарів, моделі міграції птахів та іншу відповідну інформацію, щоб виявити потенційно небезпечні місця. Попереджаючи пілотів і диспетчерів повітряного руху у режимі реального часу, штучний інтелект може значно знизити ризик зіткнення з птахами та мінімізувати можливі наслідки для літаків.

#### ***2.3.6. Ефективне управління повітряним рухом***

Системи на базі штучного інтелекту можуть використовувати розуміння даних в реальному часі та прогнозування схем руху для оптимізації управління повітряним рухом. При врахуванні таких факторів, як погодні умови, маршрути польотів і пропускна здатність повітряного простору, алгоритми штучного інтелекту можуть надати рекомендації щодо найбільш ефективного маршруту і інтервалу між літаками, що допоможе зменшити затори та підвищити загальну ефективність повітряного руху.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

Підсумовуючи, використання машинного та глибокого навчання в авіаційній безпеці виявилось надзвичайно корисним і ефективним. Ці методи дозволяють проводити детальний аналіз польотних даних, прогнозувати та запобігати аваріям, а також забезпечувати системи підтримки прийняття рішень. Використання цих методів може значно підвищити безпеку в авіації шляхом активного виявлення та зменшення ризиків, пов'язаних з надзвичайними ситуаціями, удосконалення заходів щодо запобігання зіткненням з птахами та надання допомоги в розслідуванні аварій. Для авіаційної безпеки ці методи є незамінними і вкрай важливими.

Крім того, використання машинного та глибокого навчання може значно поліпшити ефективність роботи авіаційних систем. Вони дозволяють швидко та точно обробляти великі обсяги даних, що сприяє покращенню всіх процесів. Крім цього, за допомогою цих методів можна виявити нові шаблони та тренди у поведінці польоту, що є важливим для забезпечення безпеки в авіації. Таким чином, використання машинного та глибокого навчання в авіаційних системах має великий потенціал для покращення ефективності та безпеки.

Також важливо відзначити, що використання машинного та глибокого навчання може покращити надійність та стійкість авіаційних систем, допомагаючи виявляти та усувати помилки та вразливості. Це може допомогти запобігти аваріям та несправностям, що можуть мати серйозні наслідки для безпеки польотів. Додатково, використання цих технологій може забезпечити більш точну та ефективну роботу авіаційних систем, зменшуючи час на розпізнавання та реагування на потенційні проблеми. Більший обсяг даних, які можуть бути оброблені штучним інтелектом та нейронними мережами, також забезпечує збільшення точності та надійності систем. Таким чином, використання машинного та глибокого навчання в авіації має значний потенціал для покращення безпеки та ефективності.

У теперішній час, використання цих технологій стає все більш поширеним у сфері авіації. Машинне навчання дозволяє автоматизувати процеси аналізу

великих обсягів даних, що допомагає виявляти потенційні проблеми з безпекою та вжити необхідні заходи для їх вирішення. Глибоке навчання, з свого боку, дозволяє системам автоматично вчитися зі збільшенням обсягу даних, що дозволяє покращити точність прогнозування та прийняття рішень.

Покращення безпеки польотів є однією з основних мет цих технологій. Вони можуть аналізувати інформацію з різних джерел, таких як датчики на борту літака, дані зі змінних погодних умов, а також інформацію про попередні аварії та інциденти. На основі цих даних, системи можуть виявляти потенційні загрози та вживати відповідних заходів для їх запобігання.

Ефективність авіаційних систем також може бути покращена завдяки використанню машинного та глибокого навчання. Наприклад, системи можуть аналізувати дані про використання палива та ресурси літака, щоб розробити оптимальні стратегії використання ресурсів та зменшити витрати. Крім того, ці технології можуть автоматизувати процеси планування маршруту та надання інформації пілотам, що допомагає забезпечити більш ефективний та безпечний політ.

Зменшення ризиків, пов'язаних з надзвичайними ситуаціями та аваріями, також є важливою метою використання машинного та глибокого навчання. Системи можуть виявляти аномальні поведінки літаків та попереджати про можливі проблеми ще до того, як вони стануть критичними. Крім того, вони можуть автоматично розробляти та виконувати плани надзвичайних ситуацій, що дозволяє забезпечити швидку та ефективну реакцію на непередбачені обставини.

Загалом, використання машинного та глибокого навчання в авіаційній безпеці має великий потенціал для поліпшення безпеки польотів, забезпечення ефективності авіаційних систем та зменшення ризиків. Ці технології можуть бути використані як допоміжний інструмент для пілотів та операторів, а також як системи, що працюють автономно. Вони є незамінними для сучасної авіації та мають потенціал зробити польоти ще безпечнішими та ефективнішими.

Застосування штучного інтелекту в авіаційній безпеці вносить значні переваги у галузь, підвищуючи рівень безпеки, прогножуючи потребу в технічному обслуговуванні, надаючи системи підтримки прийняття рішень, аналізуючи дані аварій та оптимізуючи управління повітряним рухом.

Застосування штучного інтелекту дозволяє автоматизувати процес аналізу величезних обсягів даних, що допомагає виявляти закономірності та небезпеки, які можуть призвести до аварій. Машинне навчання та глибоке навчання дозволяють аналізувати дані польотів в реальному часі, надаючи пілотам і аеротехнічним контролерам системи прийняття рішень та попереджуючи про можливі ризики безпеки.

Крім того, штучний інтелект може виявляти та передбачати зіткнення з птахами та оптимізувати управління повітряним рухом для більш ефективного маршрутування та розташування літаків. Це сприяє забезпеченню безпеки польотів та підвищенню загальної ефективності авіаційної системи.

Застосування штучного інтелекту в авіаційній безпеці є невід'ємною частиною сучасної авіаційної індустрії. Воно допомагає уникнути нещасних випадків, забезпечує швидку реакцію на потенційні загрози та покращує ефективність роботи авіаційної системи в цілому. Застосування штучного інтелекту в авіаційній безпеці відкриває нові перспективи для подальшого розвитку та покращення безпеки польотів.

Отже, використання машинного та глибокого навчання в авіаційній безпеці є незамінним інструментом, який може покращити безпеку польотів, забезпечити ефективність авіаційних систем та зменшити ризики, пов'язані з надзвичайними ситуаціями та аваріями.

## РОЗДІЛ 3. МЕТОД ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

### 3.1. Коротке уявлення про метод *k nearest neighbours*

Метод *k* найближчих сусідів (*k*-nearest neighbors, KNN) - це один з найпростіших і найефективніших методів машинного навчання для класифікації даних. Він ґрунтується на ідеї того, що дані, які належать до одного класу, будуть ближче один до одного, ніж дані, які належать до різних класів.

#### 3.1.1 Принцип роботи

Метод *k* найближчих сусідів працює наступним чином:

- Вибирається параметр *k*, який визначає кількість найближчих сусідів, які враховуються при класифікації даних.
- Для нового даних знаходяться *k* його найближчих сусідів з набору даних, на якому система навчалася.
- Класифікація нового даних визначається за класом більшості його найближчих сусідів.

Наприклад, якщо параметр *k* дорівнює 3, то для нового даних знаходяться три його найближчих сусіда з набору даних, на якому система навчалася. Якщо два з цих сусідів належать до класу "а", а один - до класу "б", то новий дані буде класифікований як "а".

#### 3.1.2 Вибір параметра *k*

Параметр *k* є одним з найважливіших параметрів методу *k* найближчих сусідів. Він впливає на точність класифікації даних.

Зазвичай, чим більше значення *k*, тим стійкішою буде система до шуму в даних. Однак, якщо значення *k* буде занадто великим, то система може стати менш точною, оскільки вона буде враховувати дані, які не належать до одного класу з новим даними.

На практиці, значення *k* зазвичай вибирається експериментально, шляхом тестування різних значень на тестовому наборі даних.



### ***3.1.3 Особливості застосування в контексті аеронавігації***

Метод  $k$  найближчих сусідів має ряд особливостей, які роблять його придатним для застосування в контексті аеронавігації.

- Взаємодія з реальними часовими обмеженнями

Метод  $k$  найближчих сусідів є відносно швидким методом класифікації даних. Це важливо для застосування в аеронавігації, де система повинна бути здатна приймати рішення в реальному часі.

- Обробка великих обсягів даних

Метод  $k$  найближчих сусідів може бути використаний для обробки великих обсягів даних. Це важливо для аеронавігації, де дані можуть надходити з різних джерел, наприклад, з датчиків літака, навігаційної системи та інших систем.

### ***3.1.4 Застосування методу $k$ найближчих сусідів в аеронавігації***

Метод  $k$  найближчих сусідів може бути використаний для вирішення різних задач в аеронавігації, наприклад:

- Розпізнавання об'єктів. Метод  $k$  найближчих сусідів може бути використаний для розпізнавання об'єктів, які знаходяться в полі зору бортової системи літака. Наприклад, метод може бути використаний для розпізнавання інших літаків, аеропортів, небезпечних об'єктів тощо.
- Прогнозування поведінки об'єктів. Метод  $k$  найближчих сусідів може бути використаний для прогнозування поведінки об'єктів, які знаходяться в полі зору бортової системи літака. Наприклад, метод може бути використаний для прогнозування траєкторії руху інших літаків, аеропортів тощо.
- Прийняття рішень. Метод  $k$  найближчих сусідів може бути використаний для прийняття рішень в різних ситуаціях, які виникають в процесі управління літаком. Наприклад, метод може бути використаний для прийняття рішення про те, чи є об'єкт, який знаходиться в полі зору бортової системи літака, небезпечним.

Метод  $k$  найближчих сусідів є потужним інструментом, який може бути використаний для вирішення різних задач в аеронавігації. Однак, важливо

враховувати особливості цього методу, перш ніж використовувати його для вирішення конкретної задачі.

### **3.2. Вибір та підготовка набору даних для навчання**

Набір даних для навчання системи зміни акценту в реальному часі повинен містити приклади даних голосу, які належать до різних акцентів. При цьому, важливо, щоб приклади даних були записані в тих самих умовах, в яких буде працювати система в реальному часі.

Для набору даних можна використовувати записи голосу людей, які говорять з різними акцентами. При цьому, важливо, щоб записи були високої якості і містили достатньо інформації для класифікації акценту.

Перед використанням набору даних для навчання його необхідно підготувати.

Це включає в себе наступні кроки:

- Очистка даних від шуму. З набору даних необхідно видалити шум, який може негативно вплинути на точність класифікації. Наприклад, можна видалити паузи, захрипування та інші дефекти звуку.
- Нормування даних. Дані необхідно привести до одного масштабу, щоб система могла коректно класифікувати дані з різних джерел. Наприклад, можна нормувати дані за амплітудою або за частотою звуків.

#### ***3.2.1 Обґрунтування вибору та налаштування параметрів методу k найближчих сусідів***

Параметр  $k$  є одним з найважливіших параметрів методу  $k$  найближчих сусідів.

Він впливає на точність класифікації даних.

Для вибору параметру  $k$  можна використовувати наступні методи:

- Експериментальний метод. Параметр  $k$  вибирається експериментально, шляхом тестування різних значень на тестовому наборі даних.
- Метод cross-validation. Цей метод передбачає розбиття набору даних на два підмножини: навчальний і тестовий. Навчальний підмножина використовується для навчання системи, а тестовий підмножина - для

оцінки точності системи. Параметр  $k$  вибирається таким чином, щоб максимальна точність класифікації була досягнута на тестовому підмножині.

У випадку з проблемою зміни акценту в реальному часі, важливим є те, щоб система була здатна швидко приймати рішення. Тому, параметр  $k$  повинен бути обраний таким чином, щоб система могла класифікувати нові дані в реальному часі.

### ***3.2.2. Розробка алгоритму зміни акценту в реальному часі на основі $k$ найближчих сусідів***

Алгоритм зміни акценту в реальному часі на основі  $k$  найближчих сусідів працює наступним чином:

1. Система отримує новий дані голосу.
2. Система знаходить  $k$  його найближчих сусідів з набору даних, на якому вона навчалася.
3. Класифікація нового даних визначається за класом більшості його найближчих сусідів.
4. Система змінює акцент нового даних відповідно до класу, який був визначений на кроці 3.

Для реалізації алгоритму зміни акценту в реальному часі на основі  $k$  найближчих сусідів можна використовувати наступні кроки:

- Відбір ознак. Спочатку, необхідно відібрати ознаки, за якими будуть класифіковані дані. У випадку з проблемою зміни акценту в реальному часі, можна використовувати наступні ознаки:
  - Частота звуків
  - Висота тону
  - Тривалість звуків
- Навчання системи. Система навчається на наборі даних, який містить приклади даних голосу, які належать до різних акцентів.
- Класифікація нових даних. Система класифікує нові дані, використовуючи інформацію, отриману на етапі навчання.

- Зміна акценту нових даних. Система змінює акцент нових даних відповідно до класу, який був визначений на кроці 3.

### **3.3. Особливості застосування в контексті аеронавігації**

Метод k найближчих сусідів має ряд особливостей, які роблять його придатним для застосування в контексті аеронавігації.

#### ***3.3.1. Взаємодія з реальними часовими обмеженнями***

Метод k найближчих сусідів є відносно швидким методом класифікації даних. Це важливо для застосування в аеронавігації, де система повинна бути здатна приймати рішення в реальному часі.

У контексті аеронавігації, метод k найближчих сусідів може бути використаний для вирішення таких задач, як:

- Розпізнавання об'єктів. Наприклад, система може використовувати метод k найближчих сусідів для розпізнавання інших літаків, аеропортів, небезпечних об'єктів тощо.
- Прогнозування поведінки об'єктів. Наприклад, система може використовувати метод k найближчих сусідів для прогнозування траєкторії руху інших літаків, аеропортів тощо.
- Прийняття рішень. Наприклад, система може використовувати метод k найближчих сусідів для прийняття рішення про те, чи є об'єкт, який знаходиться в полі зору бортової системи літака, небезпечним.

У всіх цих випадках, важливо, щоб система могла приймати рішення в реальному часі. Метод k найближчих сусідів є хорошим вибором для таких задач, оскільки він є відносно швидким методом класифікації даних.

#### ***3.3.2. Обробка великих обсягів даних***

Метод k найближчих сусідів може бути використаний для обробки великих обсягів даних. Це важливо для застосування в аеронавігації, де дані можуть надходити з різних джерел, наприклад, з датчиків літака, навігаційної системи та інших систем.

У контексті аеронавігації, метод  $k$  найближчих сусідів може бути використаний для вирішення таких задач, як:

- Розпізнавання об'єктів. Наприклад, система може використовувати метод  $k$  найближчих сусідів для розпізнавання інших літаків, аеропортів, небезпечних об'єктів тощо. Для цього, система повинна бути здатна обробляти великі обсяги даних, які містять інформацію про різні об'єкти.
- Прогнозування поведінки об'єктів. Наприклад, система може використовувати метод  $k$  найближчих сусідів для прогнозування траєкторії руху інших літаків, аеропортів тощо. Для цього, система повинна бути здатна обробляти великі обсяги даних, які містять інформацію про рух цих об'єктів.
- Прийняття рішень. Наприклад, система може використовувати метод  $k$  найближчих сусідів для прийняття рішення про те, чи є об'єкт, який знаходиться в полі зору бортової системи літака, небезпечним. Для цього, система повинна бути здатна обробляти великі обсяги даних, які містять інформацію про цей об'єкт.

Метод  $k$  найближчих сусідів є хорошим вибором для таких задач, оскільки він може бути масштабований для обробки великих обсягів даних.

### **3.4. Клонування голосу за схемою many-to-one та speech-to-speech**

Клонування голосу або Перетворення голосу (Voice Cloning) — це техніка, яка змінює голос вихідного мовця до цільового стилю, такого як ідентичність мовця, просоріччя та емоцію, зберігаючи незмінним мовний зміст.

Перетворення голосу може бути досягнуто шляхом першого вилучення інформацію про вихідний зміст та інформацію про цільового спікера, а потім реконструювати форму сигналу за допомогою цієї інформації. Однак поточні підходи зазвичай або витягують брудно зміст інформації з інформацією про спікера, що витік, або вимагати великої кількості анотованих даних для навчання. Крім того, якість реконструйованого сигналу може бути погіршена через невідповідність між моделлю перетворення та вокодером.

Типовий підхід одноразового перетворення голосу полягає в тому, щоб відокремити інформацію про вміст і інформацію про мовця від вихідної та цільової мови відповідно, а потім використати їх для реконструкції перетвореної мови. Як наслідок, якість перетвореного мовлення залежить від здатності моделі VC до розплутування та здатності моделі VC до реконструкції.

Перетворення іноземного акценту (Foregion Accent Conversion) спрямоване на створення нового голосу, який має голосову ідентичність даного носія іншої мови (L2), але з рідним (L1) акцентом. Попередні підходи FAC зазвичай вимагають навчання окремої моделі для кожного динаміка L2 і, що більш важливо, зазвичай вимагають значних мовних даних від кожного динаміка L2 для навчання.

Однак попередні підходи FAC мають два основні обмеження. По-перше, вони працюють у режимі один-до-одного, тобто вимагають підготовки окремої моделі для кожної пари динаміків L1 і L2. По-друге, їм потрібна значна кількість мовних даних (1000 висловлювань) для кожного мовця L2. Таким чином, під час використання цих звичайних методів FAC у реальних програмах, таких як навчання вимови, учням L2 потрібно записати велику кількість висловлювань, а потім чекати, поки буде навчена спеціальна модель, що може бути виснажливим і демотивуючим.

Щоб вирішити цю проблему, пропоную підхід до нульового навчання для FAC, який може синтезувати мову для довільних мовців L2, яких не бачили під час навчання. Система складається з трьох незалежно навчених нейронних мереж

1. Кодер рекурентного та таргетово мовців, який обчислює фіксований розмірний вектор із мови.
2. Модель seq2seq, яка використовує попередні представлення для синтезу Mel-спектрограми для довільного динаміка L2.
3. Авторегресійний вокодер WaveNet, який перетворює спектрограму на хвилі у часовій області

Найголовнішим етапом для початку роботи з даними є їх збір та очищення.

В Додатку 1 наведено код, який надає різні функції для обробки аудіо та перетворення його в різні представлення. Ось розбивка його основних функцій:

Завантаження та збереження аудіо:

- `load_wav`: Завантажує файл WAV і повертає аудіодані як масив NumPy.
- `save_wav`: Зберігає масив NumPy як файл WAV.
- `save_wavenet_wav`: Зберігає масив NumPy як файл WAV спеціально для використання Wavenet.

Попередня обробка аудіо:

- `preemphasis`: Застосовує попередній акцент до аудіосигналу для кращого спектрального аналізу.
- `inv_preemphasis`: Повертає попередній акцент, застосований функцією попереднього акценту.

Спектральний аналіз:

- `linearspectrogram`: Перетворює звуковий сигнал на лінійну спектрограму.
- `melspectrogram`: Перетворює звуковий сигнал на мел-спектрограму.
- `inv_linear_spectrogram`: Перетворює лінійну спектрограму назад на аудіосигнал.
- `inv_mel_spectrogram`: Перетворює мел-спектрограму назад на аудіосигнал.

Банк фільтрів Mel:

- `_build_mel_basis`: Створює банк фільтрів Mel на основі заданих параметрів.
- `_linear_to_mel`: Застосовує банк фільтрів mel до лінійної спектрограми.
- `_mel_to_linear`: Застосовує інверсний банк фільтрів mel до спектрограми mel.

Нормалізація та денормалізація:

- `_amp_to_db`: Перетворює амплітуди звуку в значення в децибелах.
- `_db_to_amp`: Перетворює значення в децибелах на амплітуди звуку.
- `_normalize`: Нормалізує спектрограму до певного діапазону.
- `_denormalize`: Денормалізує спектрограму до початкового діапазону.

Алгоритм Гріффіна-Ліма:

- `_griffin_lim`: Реалізує алгоритм Гріффіна-Ліма для реконструкції звукового сигналу з його спектрограми.

LWS процесор:

- `_lws_processor`: Створює об'єкт процесора LWS для покращення якості звуку.

Додаткові функції:

- `num_frames`: Обчислює кількість кадрів у спектрограмі.
- `pad_lr`: Доповнює спектрограму нулями для правильної обробки.
- `librosa_pad_lr`: Заповнює спектрограму за допомогою методу заповнення `librosa`.
- `get_prpg`: Витягує інформацію про висоту та період із аудіосигналу.
- `get_monophone_prpg`: Витягує монофонну інформацію з аудіосигналу.

### 3.5. Енкодер мовця

Енкодер мовця використовується для налаштування мережі синтезу на опорний мовний сигнал від потрібного цільового спікера. Нейронна мережа відображає послідовність кадрів спектрограми `log-Mel`, обчислену з мовного висловлювання довільної довжини, на вектор вбудованого фіксованого розміру.

Мережа навчена оптимізувати узагальнену наскрізну втрату верифікації мовця, щоб вбудовування висловлювань одного мовця мали високу косинусну подібність, тоді як висловлювання різних мовців були далеко одне від одного в просторі вбудовування. В Додатку 2 наведено частину енкодера. Загалом, цей код забезпечує комплексну реалізацію для навчання моделі перевірки мовця із завантаженням даних, навчанням моделі, візуалізацією та моніторингом продуктивності.

### 3.6. Акустична модель

Робочий процес навчання моделі показаний на малюнку 3.1. Акустична модель, кодувальник спікерів і кодувальник акцентів навчаються окремо, а потім



використовуються як екстрактори функцій для моделі seq2seq. Модель seq2seq навчається на паралельному корпусі з декількома мовцями L1 і L2, які фіксують характеристики голосу різних мовців і акценти. Далі ми визначаємо «вихідного» спікера як вибраного еталонним мовцем L1, а «цільовий» мовець— будь-який спікер L1/L2. Щоб навчити модель seq2seq, ми сполучаємо вихідний спікера з кожним цільовим спікером. Потім для кожної пари мовців ми передаємо вихідні висловлювання в незалежну від мовця акустичну модель, щоб виділити вузькі місця (bottleneck features or BNF), які, як ми припускаємо, охоплюють лише мовний зміст. Далі ми передаємо висловлювання від цільового мовця до кодера спікера та кодера акценту, які витягують вбудовування свого мовця та вбудовування акценту відповідно. Нарешті, ми навчаємо модель seq2seq перетворювати вихідні BNF у цільову Mel-спектрограму.

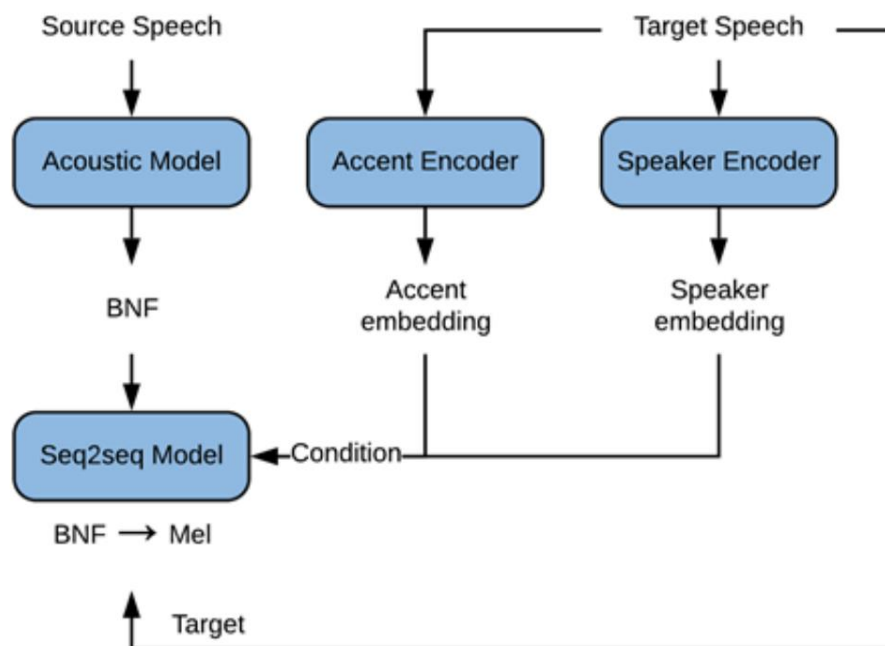


Рисунок 3.1 - Робочий процес навчання моделі

Модель вимагає вихідного висловлювання від мовця L1 і висловлювання від мовця L2. По-перше, ми витягуємо BNF і вбудовування акценту з висловлювання L1, які кодують бажаний лінгвістичний зміст і рідний акцент, а також вбудовування мовця з висловлювання L2, яке кодує бажану ідентифікацію голосу мовця L2. Потім ми передаємо L1 BNF, вбудовування акценту L1 і вбудовування мовця L2 в модель seq2seq, яка генерує конвертовану акцентом

мельспектрограму. Нарешті, Мел-спектрограма перетворюється назад у форму хвилі, у нашому випадку за допомогою окремо навченого WaveRNN, хоча також можна використовувати інші вокодери або алгоритм Гріффіна-Ліма.

Авторегресійна мережа WaveNet по вибірці використовується як вокодер для інвертування синтезованих мел-спектрограм, випромінюваних мережею синтезу, у форми хвиль у часовій області. Архітектура складається з 30 розширених згорнутих шарів. Мережа безпосередньо не залежить від виходу кодера мовця. В Додатку 3 наведено код трейну вокодера.

Фінальна версія коду для тренування синтезатору мовленевої моделі наведена в Додатку 4 і на Рис.3.2 показано процес роботи моделі.

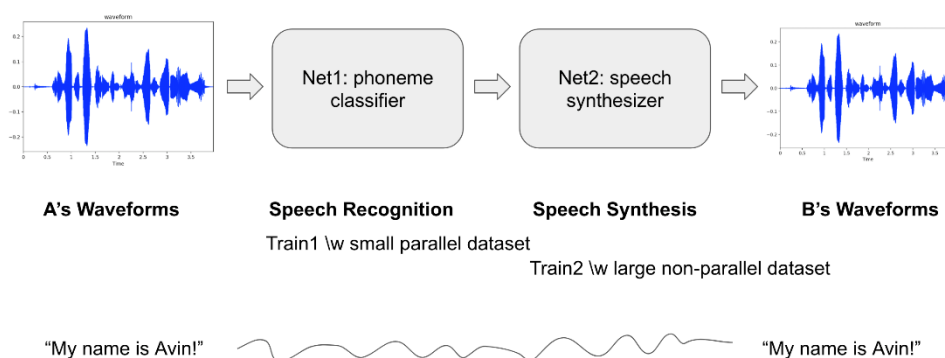


Рисунок 3.2 - Загальний процес роботи моделі

### ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Метод  $k$  найближчих сусідів має ряд особливостей, які роблять його придатним для застосування в контексті аеронавігації. Зокрема, метод є відносно швидким і може бути використаний для обробки великих обсягів даних. Ці особливості роблять метод  $k$  найближчих сусідів хорошим вибором для вирішення різних задач в аеронавігації.

У ході даного дослідження ми ретельно розглянули метод  $k$  найближчих сусідів ( $kNN$ ) та його можливості в контексті аеронавігації. Починаючи з опису самого методу, ми вивчили його принципи роботи, де основним аспектом є використання відстаней між сусідніми точками для класифікації чи регресії нових прикладів. Важливу роль у цьому методі відіграє параметр  $k$ , що визначає кількість сусідів, що беруться до уваги.

Наступним ключовим етапом був вибір та підготовка набору даних для навчання системи. Обсяг, репрезентативність, та анотації даних виявилися визначальними для створення ефективної моделі. Нормалізація та обробка відсутніх значень допомогли забезпечити стабільність та надійність в системі.

Особливості застосування  $kNN$  в аеронавігації були уважно проаналізовані. Взаємодія з реальними часовими обмеженнями та обробка великих обсягів даних виявилися ключовими в контексті авіаційних завдань.

Узагальнюючи ці аспекти, висновок справжньої сили та потенціалу методу  $k$  найближчих сусідів у сфері аеронавігації стає очевидним. Цей метод, як показали теоретичні аспекти та практична імплементація, є обіцяючим інструментом для зміни акценту в реальному часі та ефективного розв'язання завдань у повітряному просторі.

Моделювання систем штучного інтелекту, зокрема клонування голосу та перетворення акценту, виявляється складним завданням, що вимагає розробки ефективних та точних методів. У випадку клонування голосу, основною проблемою є витягування чистої інформації про мову без втрати якості, що може виникнути через невідповідність моделі перетворення та вокодера. У контексті перетворення акценту, традиційні методи вимагають значної кількості мовних

даних та окремих моделей для кожної пари мовців, що може бути витратним та непрактичним.

Для вирішення цих проблем, пропонується інноваційний підхід до нульового навчання для перетворення акценту, який дозволяє синтезувати мову для довільних мовців L2, навіть яких не було враховано під час навчання. Застосування кодера рекурентного та таргетового мовців, моделі seq2seq та авторегресійного вокодера WaveNet дозволяє створювати високоякісні перетворені голосові дані. Окремий етап важливий для збору та очищення даних, і надається код для обробки аудіо та перетворення його в різні представлення.

Узагальнюючи, наведена система представляє комплексний підхід до розв'язання завдань клонування голосу та перетворення акценту, зробленого ефективним за допомогою передових технологій нейронних мереж та інноваційних підходів до навчання.

## РОЗДІЛ 4. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1. Автоматизована обробка аеронавігаційних даних великої розмірності

Автоматизована обробка даних є важливою складовою сучасних аеронавігаційних систем. Вона виконується як на борту літака, так і на наземних обчислювальних комплексах. Навігаційні параметри літака вимірюються за допомогою різних сенсорів, таких як радіолокатори, гірокомпаси, акселерометри та ін. Ці сенсори мають певні похибки, які необхідно враховувати при обробці даних. Для цього використовують довірчі інтервали, які гарантують знаходження вимірних значень у певному діапазоні з певною ймовірністю. Найбільш поширеними довірчими інтервалами є подвійне середньоквадратичне значення, яке забезпечує 95% локалізації вимірних значень. Блоки авіоніки літака побудовані на основі архітектури персонального комп'ютера. Вони мають процесор, пам'ять, аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі, які дозволяють виконувати обробку даних на програмному рівні. Одним із найважливіших завдань авіації є визначення точного місцеположення літака. Це необхідно для забезпечення безпеки польотів та ефективного управління повітряним рухом. Зростаючі обсяги авіаперевезень вимагають введення більш точних вимог до визначення місцеположення літаків. Це можна реалізувати за рахунок використання систем позиціонування, які працюють на основі різних аеронавігаційних сигналів. Прикладом обробки даних великої розмірності є розрахунки траєкторії руху літака. Для цього можна використовувати програмне забезпечення MATLAB.

#### 4.1.1. Вхідні дані

ADS-B дозволяє літакам автоматично повідомляти своє місцеположення та інші дані в реальному часі. Ці дані використовуються диспетчерами повітряного руху, авіакомпаніями та іншими користувачами для забезпечення безпеки та ефективності повітряного руху. На борту літака ADS-B встановлюється відповідач, який періодично передає сигнали з даними про місцеположення

літака. Сигнал передається на частоті 1090 МГц і розпізнається наземними приймачами. Дані, які пересилаються в сигналі ADS-B, включають: ідентифікатор літака, координати місцеположення, барометричну висоту, швидкість, курс та статус. Наземні приймачі ADS-B приймають сигнали від літаків і декодують їх. Декодовані дані передаються на сервери, де вони зберігаються та використовуються для різних цілей. Деякі компанії, такі як Flightradar24 та Flightaware, збирають дані ADS-B з наземних приймачів по всьому світу. Ці дані використовуються для створення онлайн-карт, які показують рух літаків у реальному часі.

У якості вхідних даних я використаю дані траєкторії польоту *THY270/TK270* (Turkair 27), що забезпечуються авіакомпанією [Turkish Airlines](#) зі сполученням *Istanbul (IST)*, *Turkey* та *Chişinău (KIV)*, *Moldova*. Дата вильоту 27 вересня 2023 року о 19.22 PM (за розкладом). Дата посадки 27 вересня 2023 року о 20.50 (EEST). Політ завершився за розкладом. Політ виконувався на *Boeing 737 MAX 8 (B38M)*. Вхідні дані отримано від архіву за посиланням <https://www.flightaware.com/live/flight/THY270>. У таблиці 4.1 наведено перші та останні 15 рядків даних траєкторії польоту.

Таблиця 4.1. Траєкторні дані рейсу THY270/TK270 від 27 вересня 2023 р

Час (EEST)	Широта	Довгота	Курс	Швидкість (kts)	Швидкість (mph)	Висота (фут)
Fri 12:39:46 PM	41.2481	28.7573	↓ 174°	178	330	412
Fri 12:40:04 PM	41.2344	28.7683	↘ 126°	196	363	563
Fri 12:40:21 PM	41.2252	28.7862	↘ 130°	221	409	654
Fri 12:40:50 PM	41.2001	28.8100	↘ 147°	237	439	931
Fri 12:41:06 PM	41.1881	28.8260	↘ 123°	246	456	1,136
Fri 12:41:23 PM	41.1825	28.8517	→ 93°	271	501	1,235
Fri 12:41:42 PM	41.1838	28.8863	→ 87°	289	535	1,432
Fri 12:42:00 PM	41.1902	28.9132	↗ 59°	295	546	1,675
Fri 12:42:19 PM	41.2097	28.9373	↗ 30°	298	551	1,891
Fri 12:42:37 PM	41.2344	28.9440	↑ 358°	293	543	2,148
Fri 12:42:55 PM	41.2581	28.9432	↑ 358°	285	528	2,424
Fri 12:43:11 PM	41.2786	28.9429	↑ 358°	289	535	2,628
Fri 12:43:28 PM	41.3007	28.9347	↖ 332°	281	520	2,765
Fri 12:43:44 PM	41.3163	28.9161	← 307°	279	517	2,889
Fri 12:44:11 PM	41.3304	28.8786	← 294°	290	537	3,026

...						
Fri 12:55:18 PM	42.1819	27.9267	↑ 344°	434	804	28,851
Fri 12:55:48 PM	42.2354	27.9040	↑ 343°	434	804	29,351
Fri 12:56:20 PM	42.2961	27.8788	↑ 342°	446	826	29,974
Fri 12:56:48 PM	42.3552	27.8548	↑ 342°	449	832	30,624
Fri 12:57:18 PM	42.4128	27.8314	↑ 342°	446	826	31,252
Fri 12:57:49 PM	42.4724	27.8068	↑ 342°	447	829	31,830
Fri 12:58:19 PM	42.5326	27.7819	↑ 342°	449	832	32,376
Fri 12:58:49 PM	42.5904	27.7578	↑ 342°	440	815	33,102
Fri 12:59:19 PM	42.6499	27.7331	↑ 342°	435	806	33,776
Fri 12:59:49 PM	42.7056	27.7099	↑ 342°	434	804	34,305
Fri 01:00:19 PM	42.7652	27.6852	↑ 342°	434	804	34,825
Fri 01:00:50 PM	42.8249	27.6605	↑ 342°	438	812	35,210
Fri 01:01:21 PM	42.8828	27.6364	↑ 342°	438	812	35,530
Fri 01:01:51 PM	42.9425	27.6113	↑ 342°	445	824	35,855
Fri 01:02:13 PM	42.9861	27.5994	↑ 357°	457	846	36,100

Виконаємо імпорт траєкторних даних рейсу ТНУ270/ТК270 від 27 вересня 2023 р у програмне забезпечення MATLAB. Результати візуалізації даних траєкторії польоту наведені на рис.4.1., а вертикальний профіль представлено на рис. 4.2.

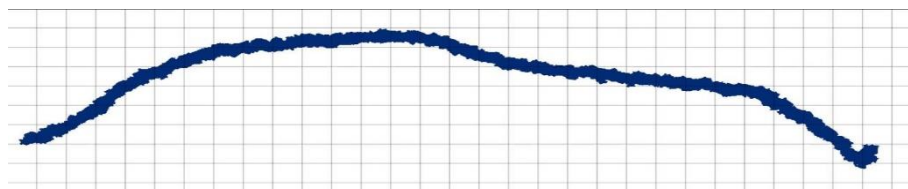


Рисунок 4.1 – Траєкторія руху рейсу ТНУ270/ТК270 від 27 вересня 2023 р

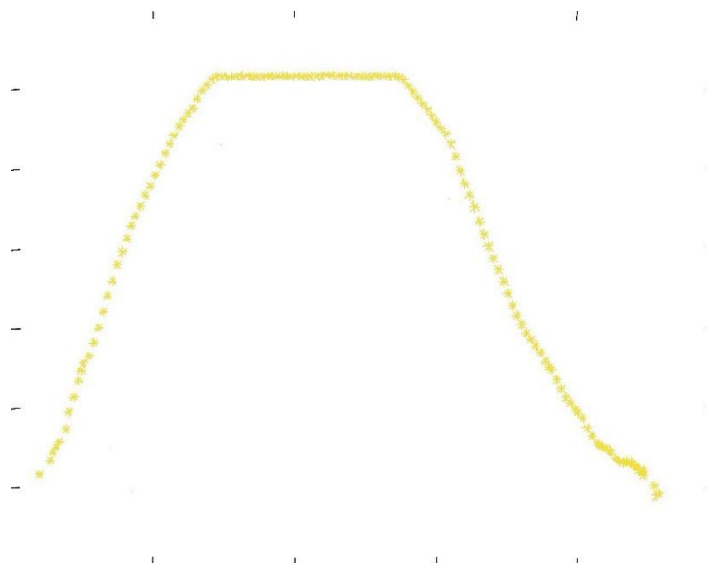


Рисунок 4.2 – Вертикальний профіль рейсу ТНУ270/ТК270 від 27.09.2023 р

### 4.1.2. Інтерполяція траєкторних даних

Цифрові повідомлення ADS-B пересилаються літаками з різною частотою. Це може призвести до того, що траєкторні дані, отримані на основі цих повідомлень, будуть несинхронізованими. Інтерполяція даних дозволяє отримати нові значення даних, які знаходяться між вихідними значеннями. Це дозволяє синхронізувати траєкторні дані та усунути "биті" повідомлення. Інтерполяція даних є важливим інструментом для обробки траєкторних даних ADS-B. Вона дозволяє поліпшити якість даних та зробити їх більш придатними для подальшого аналізу.

У якості інтерполюючої функції можуть виступати поліноми чи сплайн-функції. Результати інтерполяції вхідних даних на частоту 1 Гц наведені на рис.4.3.

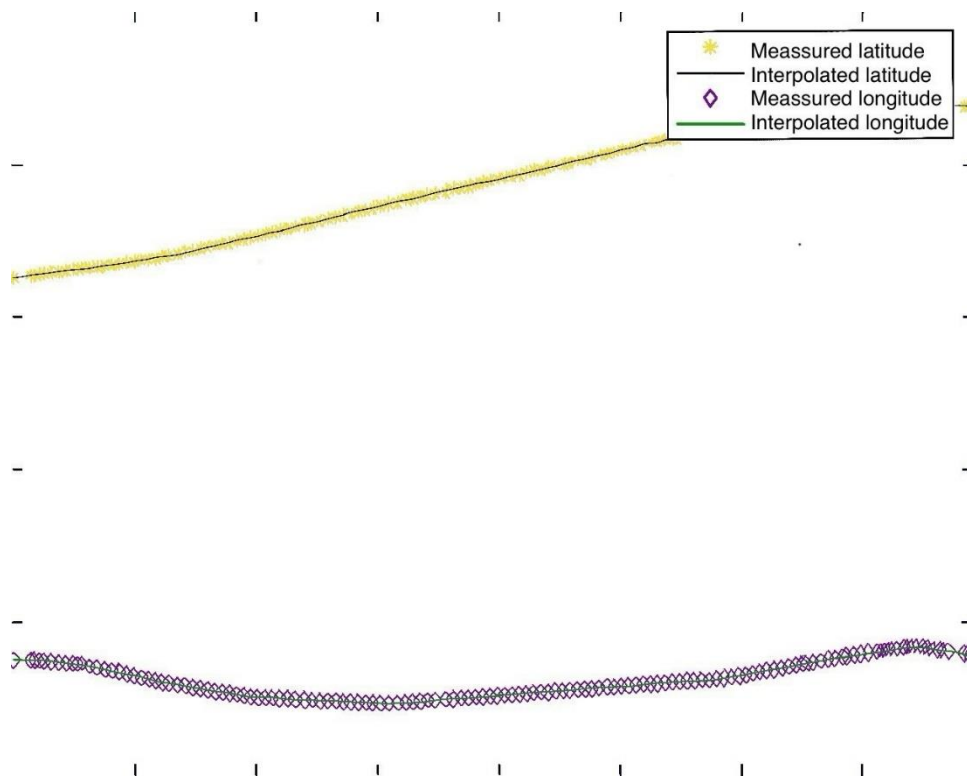


Рисунок 4.3 – Інтерпольовані траєкторні дані на частоту 1 Гц рейсу ТНУ270/ТК270 від 27.09.2023 р

### 4.1.3. Розрахунок параметрів траєкторії

За набором даних тривимірної траєкторії руху виконаємо розрахунок компонентів швидкості, зокрема розрахуємо повну швидкість ПС, вертикальний та горизонтальний компонент. Результати розрахунку швидкості наведено на рис. 4.4., а оцінений курс літака на рис. 4.5.



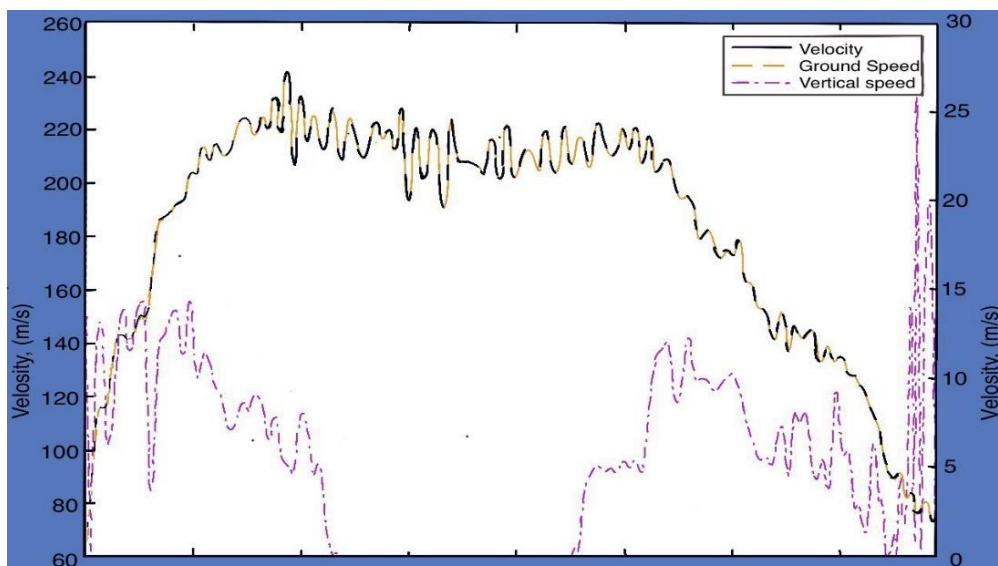


Рисунок 4.4 – Результати розрахунку швидкості польоту для рейсу ТНУ270/ТК270 від 27.09.2023 р

Також підрахуємо загальний час польоту, та довжину маршруту та траєкторії.

Загальний час польоту рейсу ТНУ270/ТК270 від 27.09.2023 р. склав 1 годину 5 хв 50 с.

Довжина траєкторії – 722,3008 км, а довжина маршруту (горизонтальної проекції) – 721,5975 км

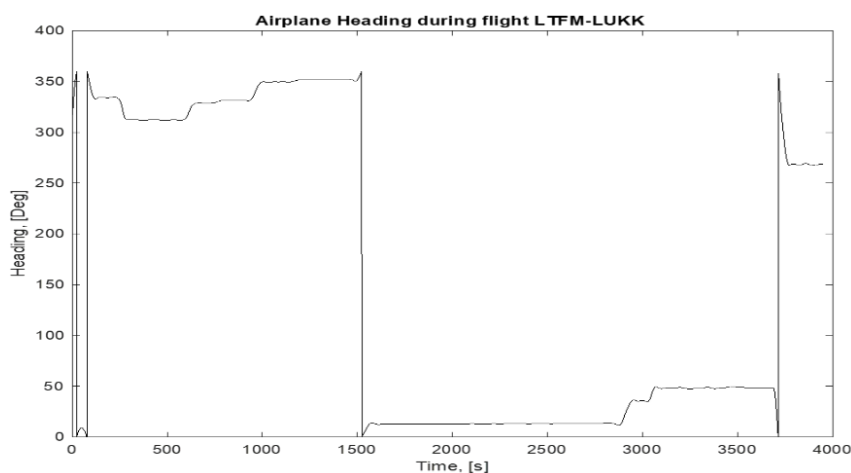


Рисунок 4.5 – Результати розрахунку курсу для рейсу ТНУ270/ТК270 від 27.09.2023 р

## 4.2. Методологія відновлення системи спостереження

Запропонована методологія відновлення системи спостереження допомагає адаптувати існуючу інфраструктуру спостереження та підтримує впровадження нової інфраструктури спостереження з технічної та економічної точки зору.

Ключ до успішної раціоналізації технології полягає в цілісному підході, який враховує як економічні, так і стратегічні фактори. Необхідно уникати надмірної економії, яка може призвести до втрати важливих переваг. Основний принцип раціоналізації для постачальників аеронавігаційних послуг полягає в тому, щоб зменшити або раціоналізувати інфраструктуру спостереження, не порушуючи її продуктивності. Для досягнення цього необхідно розробити стратегії для отримання кращого співвідношення ціни та якості та підвищення ефективності системи. Стратегії для отримання кращого співвідношення ціни та якості можуть включати: раціоналізацію ланцюга постачання, калкуляцію витрат за весь життєвий цикл, детальний аналіз бюджету та витрат на обслуговування активів.

Стратегії для підвищення ефективності системи можуть включати: оцінку експлуатаційних вимог та картографування інфраструктури.

Впровадження раціоналізації має відбуватися за певним процесом або методологією. Запропонований 6-етапний процес включає:

1. Оцінка поточної ситуації
2. Розробка стратегій
3. Впровадження стратегій
4. Оцінка результатів
5. Підтримка
6. Контроль

Кроки процесу взаємопов'язані та можуть вимагати повторення (рис. 4.6).

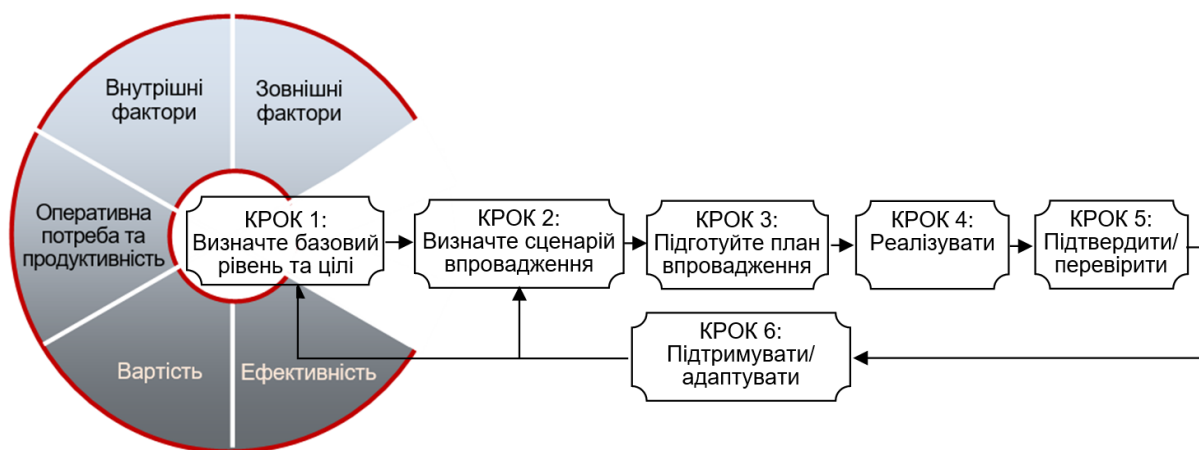


Рисунок 4.6. – Методика впровадження

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4**

Раціоналізація системи спостереження - це комплексний процес, який включає в себе широкий спектр факторів. Важливо враховувати всі зацікавлені сторони, а також найновіші технологічні розробки. При раціоналізації необхідно ретельно оцінити витрати та переваги, щоб отримати економічно нейтральне або економічно вигідне рішення. Витрати на перехід суттєво залежать від часу впровадження заходу з раціоналізації та географічного розташування. Цей висновок містить основні ідеї, викладені в оригінальному тексті. Він короткий та зрозумілий, і його можна використовувати в якості висновку до розділу роботи.

## **РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЗИХИСТ ПРАЦІ В СФЕРІ АВІАЦІЇ**

### **5.1. Шумове забруднення від авіаційного транспорту**

Джерелами звукового впливу на території авіапідприємств та прилеглих районів є:

- а) Авіаційні силові установки, оснащені газотурбінними і поршневими двигунами;
- б) Допоміжні силові установки літаків та агрегати запуску;
- в) Спецмашини аеродромного обслуговування, включаючи теплові та вітрові машини, які використовують авіадвигуни, вичерпавши льотний ресурс;
- г) Виробниче обладнання та технологічне устаткування.

Акустична ситуація в околицях аеропорту залежить від таких факторів:

- а) Режиму роботи авіапідприємства;
- б) Типів повітряних суден, що експлуатуються в аеропорту;
- в) Маршрутів прильоту та вильоту повітряних суден;
- г) Розташування житлових зон відносно злітно-посадкової смуги, а також заходів, що вживаються для зменшення впливу авіаційного шуму на оточуюче середовище.

Під час проведення наземних випробувань авіадвигунів, зльотів та посадок повітряних суден виникають складні акустичні коливання. Ці коливання включають не лише гучний високочастотний шум, але й інфразвуки низької частоти, які можуть поглиблювати негативний вплив на живі організми.

Протягом останніх десятиліть у всіх країнах актуальною стала проблема боротьби із звуковим забрудненням від авіаційного транспорту, зокрема в районах, де розташовані аеропорти. Дослідження шуму від повітряних суден видається більш актуальним, ніж будь-яке інше екологічне питання, і тому враховується при конструюванні нових літаків, виборі режимів зльоту та посадки, а також при будівництві та реконструкції аеропортів.

Повітряні перевезення виробляють інтенсивний шум навколо як цивільних, так і військових аеропортів. Зльоти літаків є основним джерелом інтенсивного шуму, включаючи гуркіт і вібрацію. Посадка літака також створює шум уздовж коридорів, де зазвичай виконуються низькі польотні рухи. Шум виникає не від лише двигунів, але й від шасі, механізації крила, а також від застосування зворотної тяги (реверсу двигунів) під час пробігу по злітно-посадковій смугі. Більші та важчі літаки зазвичай породжують більше шуму, ніж легші.

Нормативне регулювання шуму передбачає максимально допустиме зменшення шуму обладнання, пристроїв та транспортних засобів, враховуючи наукові досягнення, новітні технології, використання нових матеріалів та вдосконалення виробничих процесів. Технічні норми періодично переглядаються для введення більш жорстких обмежень з шуму. Санітарно-гігієнічні стандарти визначають необхідний рівень зниження шуму, а технічні норми вказують на досяжні на практиці рівні шуму технічних джерел.

Для гвинтових літаків система обмежень щодо шуму також залежить від їх злітної маси. Для важких гвинтових літаків, які мають злітну масу більше 9000 кг, застосовується аналогічна система обмежень, яка використовується для реактивних літаків.

Для легких гвинтових літаків обмеження шуму застосовуються в одній контрольній точці: під траєкторією горизонтального прольоту на висоті 300 м, коли режим роботи двигунів є максимальним. У цьому випадку рівень шуму не повинен перевищувати 68 дБА для злітних мас менше 600 кг і 80 дБА для злітних мас більше 1500 кг.

Обсяги впливу шуму від транспортних засобів значно залежать від структури парку транспортних засобів, інтенсивності їх експлуатації та забудови в областях, що оточують транспортні магістралі. Наприклад, у центральних регіонах (ЦА) світу, протягом 1980-х років, глобальний парк транспортних літаків транспортної категорії збільшився на приблизно 30%, досягаючи близько 12 тисяч повітряних суден до 1990 року. На сьогоднішній день структура цього парку показує, що 75% складають найбільш шумні реактивні повітряні судна, а

решта - гвинтові літаки. Зокрема, 20% парку представлено літаками з турбогвинтовими двигунами, 5% - гвинтовими поршневіми двигунами.

Значні зусилля прикладаються для дослідження механізмів виникнення шуму, ідентифікації основних акустичних джерел і розроблення та впровадження низькошумних двигунів і літаків.

Шум, який виникає внаслідок різних типів літальних апаратів, значно відрізняється за характеристиками, що переважно обумовлено різними джерелами шуму у цих транспортних засобах.

У літаків із реактивними двигунами шум формується через наступні причини:

1. Реактивний струмінь.
2. Турбіна.
3. Компресор.
4. Вентилятор.

Внесок кожного з цих компонентів в значній мірі залежить від ступеня двоконтурності двигуна (відношення байпасу) і режиму його роботи. Реактивний струмінь та турбіна, головним чином, випромінюють звук за заднім боком двигуна, тоді як компресор і вентилятор створюють шум як спереду, так і ззаду двигуна. Сучасні тенденції в авіаційній індустрії спрямовані на створення двигунів з високим відношенням байпасу, яке досягає 10-12.

У надзвукових транспортних літаках, навпаки, використовуються одно- чи двоконтурні двигуни з низьким відношенням байпасу. Шум від реактивного струменя виникає внаслідок турбулентної зони за заднім краєм двигуна, що розташована на відстані кількох діаметрів сопла за його вихідним отвором.

Основні характеристики, які впливають на випромінювання звукових хвиль від компресорів і вентиляторів, включають частоту обертання лопатей ротора, кількість лопатей ротора і статора, відстань між статором і ротором, а також діаметр компресора чи вентилятора. Зі збільшенням відстані між вхідними лопатями і ротором спочатку спостерігається зниження рівня шуму, а згодом він стає сталим.

У випадку, коли швидкість руху лопатей перевищує швидкість звуку, виникають ударні хвилі, які характеризуються неідентичністю лопатей. З поширенням ударних хвиль у напрямку до вхідного отвору двигуна, їхню неідентичність може збільшуватися. На вхідному отворі двигуна тиск розподіляється так, що період його зміни по колу стає  $2\pi$ . Цей розподіл тиску, пов'язаний із обертанням лопатей із швидкістю, що дорівнює частоті обертання ротора  $N$ , призводить до випромінювання основного тону з частотою  $Nz$ , де  $z$  - кількість лопатей у колесі ротора, а також відповідних обертонів.

Турбогвинтовий двигун займає проміжне положення між реактивним і поршневим. Ці двигуни застосовуються на невеликих пасажирських літаках місцевих авіаліній, де головним джерелом шуму є гвинт. Частота основного тону і обертонів також залежить від частоти обертання гвинта ( $Nz$ ), де  $N$  - частота обертання гвинта,  $z$  - кількість лопатей у гвинті.

Під час польоту літака з надзвуковими швидкостями виникає джерело шуму - звуковий удар. Звуковий удар сприймається як 2, 3 і більше імпульси тиску з проміжками часу між ними, приблизно 0,1–0,2 с. Фізично звуковий удар виникає внаслідок ударної звукової хвилі у повітрі, яка утворюється, коли літак рухається зі швидкістю, що перевищує локальну швидкість звуку. Ударна звукова хвиля поширюється від літака у конусоподібній формі. У точці, яку розглядаємо, проходження ударної звукової хвилі викликає раптове підвищення атмосферного тиску, яке потім поступово зменшується до значення нижчого від нормального тиску, після чого раптово підвищується до нормального рівня. Ці коливання тиску називаються  $N$ -хвилею або ударними хвилями.

Звуковий удар може бути почутим як дуже гучний і ударний звук, і його можна почути на відстані понад 50 км, в залежності від висоти польоту та розміру літака. Зона звукового удару - це ділянка поверхні землі, на якій відчутний цей удар.

У вертольотах, ротори та двигуни виступають як основні джерела шуму. В вертольотах з поршневим приводом, переважно, генерується шум самим двигуном. Багато вертольотів використовують газотурбінні двигуни, при цьому

шум, що виникає від реактивного струменя та турбіни, зазвичай менший, ніж шум, що генерується ротором. Шум компресора, як правило, характеризується високою частотою і має обмежений вплив на великі відстані.

Основним джерелом змін аеродинамічних сил є взаємодія лопаті ротора з вихровим слідом попередньої лопаті. Крім того, несиметричне обтікання лопатей під час поступального руху вертольота може викликати періодичні зміни аеродинамічних сил. Ці фактори взаємодіють і сприяють утворенню шуму під час роботи вертольота, важливого аспекту, який вивчається в контексті оптимізації та зменшення шумового впливу в цьому виді повітряного транспорту.

Важливим заходом для зменшення впливу шуму авіації на навколишнє середовище є система стандартів ІСАО (Міжнародна організація цивільної авіації), яка регулює і контролює шум, який генерують літаки під час їх розробки та експлуатації. Обмеження шуму приймаються на основі санітарно-гігієнічних вимог, з урахуванням таких умов, при яких вплив шуму на людину є незначним або взагалі несприятливо не виявляється. Крім того, використовуються технічні норми, які регулюють шум літаків та враховують методи зменшення акустичного випромінювання, розроблені і випробувані в технічній практиці.

Загалом акустична обстановка в районі аеропорту формується з урахуванням кількох ключових чинників:

1. **Режим функціонування авіапідприємства:** Визначається обсягом та характером авіаційної діяльності, наприклад, регулярні польоти, вантажні перевезення, або навчальні програми.
2. **Типи повітряних суден (ПС):** Різні види літаків і вертольотів можуть генерувати різний рівень та характер шуму. Це включає літаки з реактивними та гвинтовими двигунами.
3. **Маршрути прильоту та вильоту ПС:** Напрямки, висоти і кути підходу або вильоту літаків можуть впливати на розподіл шуму в межах району.
4. **Розташування житлової забудови відносно злітно-посадкової смуги:** Розміщення житлових зон відносно аеропорту визначає, як сильно мешканцям буде відчувати шум авіації.



5. **Заходи, що проводить аеропорт із метою зниження несприятливого впливу авіаційного шуму на довкілля:** Включають у себе технічні та організаційні заходи для зменшення шуму, наприклад, використання бар'єрів, оптимізація маршрутів, або використання більш тихих видів літаків.

Під час наземних випробувань авіадвигунів, зльотів і посадок літаків виникають складні акустичні коливання, які включають в себе не лише гучний високочастотний шум, але також і інфразвуки низької частоти. Це може підсилити шкідливий вплив на живі організми, оскільки низькочастотний шум може проникати глибоко в тканини та органи тіла, викликаючи додаткові стресові реакції[33].

## **5.2. Основні поняття гігієни праці**

Гігієна – це галузь медицини, що досліджує вплив умов життя на здоров'я людини та впроваджує заходи для профілактики захворювань, забезпечення оптимальних умов існування, збереження здоров'я та подовження тривалості життя.

Гігієна праці входить до складу загальної гігієни та вивчає вплив умов праці на функціонування організму людини та його окремих систем. Організм людини еволюціонував у природних умовах, де ключові фактори включали мікроклімат, склад повітря, електромагнітний, радіаційний та акустичний фон, світловий клімат і інші.

Внаслідок техногенної діяльності людини, залежно від умов реалізації та особливостей технологічних процесів, може виникати значне відхилення параметрів виробничого середовища від природних значень, необхідних для нормального функціонування організму людини.

Це відхилення може призводити до різних порушень функціонування окремих систем організму або організму в цілому. Ці порушення можуть бути частковими або повними, тимчасовими або постійними, залежно від ступеня

відхилення чинників виробничого середовища від природних фізіологічних норм для людини.

Ухилення від уникнення небажаного впливу техногенної діяльності людини на стан виробничого середовища та оточуючого середовища взагалі є невеликою ймовірністю. Отже, основною метою гігієни праці є встановлення таких граничних значень, при яких відхилення від природних фізіологічних норм для людини та вплив окремих факторів виробничого середовища не призведуть до негативних змін у функціонуванні організму працівника та не викличуть генетичних наслідків у майбутніх поколіннях.

На сучасному етапі розвитку гігієни праці як науки, гігієністи керуються пороговим принципом. Відповідно до цього принципу, відхилення певного чинника виробничого середовища від природної фізіологічної норми для людини до певного критичного рівня не призводить до небажаних змін в організмі працівника та не має генетичних наслідків. Гігієністи встановлюють науково обгрунтовані граничні нормативи (концентрації, рівні тощо) для окремих факторів виробничого середовища. Ці нормативи підтверджуються відповідними центральними органами державного управління, а оцінка відповідності гігієнічних умов праці цим нормативам здійснюється через проведення аудиту.

Під час праці людина опиняється під впливом різноманітних факторів, які можуть призводити до негативних наслідків, таких як надмірне підвищення або зниження температури тіла та підвищення тиску. З метою зменшення впливу цих факторів і забезпечення сталості параметрів життєдіяльності організму, активуються пристосувальні реакції, що представляють собою захисні рефлекси організму. Ці рефлекси впливають на роботу основної функціональної системи людини і можуть призводити до зниження працездатності.

Зазвичай людина вживає заходів для того, щоб зменшити вплив захисних рефлексів основної функціональної системи. З течією часу працюючий адаптується до негативного впливу санітарно-гігієнічних факторів, якщо вони не перевищують певних меж. Проте цю адаптацію здійснюють за рахунок

додаткових витрат мускульної та нервово-психічної енергії. З погляду основного трудового процесу таке використання внутрішніх резервів організму може бути неефективним, оскільки енергія витрачається марно.

Таким чином, негативний вплив санітарно-гігієнічних факторів на людину відволікає внутрішні ресурси працюючого від основного трудового процесу, що негативно впливає на психофізіологічний стан людини, її працездатність і, в результаті, може відобразитися на техніко-економічних показниках підприємства.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5

Шумове забруднення, спричинене авіаційним транспортом, є серйозною проблемою, яка впливає на якість життя населення та екологічний стан навколишнього середовища. Звукові ефекти, породжені авіаційними джерелами, такими як літаки та вертольоти, можуть мати різноманітні негативні наслідки для здоров'я людей та екосистеми.

Наявність великих рівнів шуму може викликати стрес, порушення сну та інші негативні впливи на фізичне та психічне здоров'я людей, особливо тих, хто проживає в непосредній близькості до аеропортів чи маршрутів авіаційного руху. Зокрема, це може впливати на концентрацію, навчання дітей та загальний комфорт життя.

Крім того, авіаційний шум може мати екологічні наслідки, впливаючи на поведінку та життєвий простір деяких видів тварин та птахів. Зменшення біорізноманіття та порушення екологічної рівноваги може мати подальші наслідки для екосистем та біосфери.

Таким чином, зменшення шумового забруднення від авіаційного транспорту вимагає комплексного підходу, який включає в себе розробку технологій зменшення шуму, планування розташування аеропортів, впровадження нормативів та стандартів для обмеження шумового впливу та освіти громадськості щодо важливості контролю за цією формою забруднення. Вирішення цього питання є ключовим для забезпечення сталого та здорового розвитку авіаційного сектора та загального благополуччя суспільства.

Гігієна праці є важливим розділом науки, що вивчає вплив умов праці на здоров'я людини та розробляє заходи для забезпечення оптимальних умов існування, профілактики захворювань та підтримання загального стану організму. Основні поняття гігієни праці об'єднуються навколо розуміння взаємозв'язку між умовами праці та здоров'ям працівника.

Вивчення мікроклімату, складу повітря, світлового клімату, акустичного та електромагнітного фону у робочих приміщеннях дозволяє визначити оптимальні параметри для збереження фізіологічного стану людини. Гігієна праці

спрямована на встановлення граничних значень параметрів виробничого середовища, які не викликають негативних змін у функціонуванні організму та не мають генетичних наслідків для наступних поколінь.

Підкреслюється важливість адаптації організму до умов праці, а також раціонального використання внутрішніх резервів для компенсації небажаного впливу факторів виробничого середовища. Сучасний підхід до гігієни праці базується на пороговому принципі, що визначає критичні рівні впливу, за якими негативні наслідки для здоров'я є непомітними або мінімізованими.

Загальною метою гігієни праці є створення безпечних, здорових та ефективних умов праці, які сприяють підтримці фізичного та психічного благополуччя працівників, а також запобіганню ризикам і покращенню якості життя на робочому місці.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У цій дипломній роботі було проведено глибокий аналіз використання систем штучного інтелекту (ШІ) у сфері аеронавігації, досліджено їхню ефективність та можливості інтеграції в авіаційні операції. Метою роботи було проаналізувати використання систем ШІ та довести їхню ефективність у контексті покращення авіаційної безпеки та ефективності.

Аналіз систем штучного інтелекту в аеронавігації: У першому розділі був проведений огляд сучасного стану авіаційної безпеки, визначені етичні та правові виклики в застосуванні штучного інтелекту в авіаційній безпеці, і проаналізовані можливості розвитку цієї технології в галузі авіації. Цей розділ надав глибокий інсайт у важливість впровадження систем ШІ для покращення безпеки та ефективності авіаційних операцій.

Приклади застосування ШІ в аеронавігації: Другий розділ охопив приклади існуючих автоматизованих систем та технологій, які використовуються в аеронавігації, і провів огляд існуючих систем і технологій, що використовують ШІ. Він дозволив зрозуміти потенційні переваги використання ШІ в аеронавігації та виявити області, де ці технології можуть бути найбільш корисними.

Інтеграція та порівняння використання систем ШІ: Третій розділ обговорював можливість інтеграції автоматизованих систем і систем ШІ в аеронавігації та надав критерії порівняння для визначення, який з підходів може бути більш ефективним. Цей розділ створив базу для подальших досліджень та розробки стратегій інтеграції систем ШІ у сферу авіації.

Загальний висновок полягає в тому, що системи штучного інтелекту мають великий потенціал для поліпшення авіаційної безпеки та ефективності. Їхнє впровадження вимагає детального аналізу, розробки стандартів та навчання персоналу. Проте, вони можуть стати ключовим інструментом для забезпечення майбутньої безпеки та ефективності авіаційних операцій.

Результати цієї дипломної роботи можуть бути використані як основа для подальших досліджень та розробки стратегій впровадження систем штучного

інтелекту в аеронавігацію. Впровадження систем штучного інтелекту в авіаційну сферу вимагає відповідального та обґрунтованого підходу, але воно може принести значні користі для безпеки, надійності та ефективності авіаційних процесів.

З урахуванням швидкого розвитку технологій штучного інтелекту, його можливості для обробки великих обсягів даних та прийняття рішень в реальному часі стають надзвичайно важливими у контексті авіаційної безпеки та оптимізації авіаційних операцій. Досягнення ефективної інтеграції цих систем може позитивно вплинути на майбутнє авіаційної промисловості.

Рекомендації для подальших досліджень та практичного впровадження систем штучного інтелекту в аеронавігацію включають удосконалення стандартів безпеки, навчання персоналу, а також співпрацю між авіаційними компаніями, дослідницькими організаціями та регулюючими органами. Досягнення цих цілей допоможе забезпечити успішну інтеграцію систем штучного інтелекту в аеронавігацію та підвищить загальний рівень безпеки та ефективності в цій важливій галузі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Norvig, P., & Russell, S. (2009). Artificial Intelligence: A Modern Approach. Prentice Hall
2. AI In Aviation Exploring The Fundamentals, Threats And Opportunities Of Artificial Intelligence (Ai) In The Aviation Industry. WHITE PAPER . JUNE 2018. Retrieved from <https://www.iata.org/contentassets/b90753e0f52e48a58b28c51df023c6fb/ai-white-paper.pdf>
3. Discover SESAR 1 achievements – Asses mode: 15.11.17/<https://www.sesarju.eu/sesar1>
4. SESAR EXPLORATORY RESEARCH H2020 CALL 1- TOPIC : Data Science in ATM. Retrieved from <https://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/sesar-02-2015.html>
5. Council regulation (EC) No 219/2007 of 27 February 2007 on the establishment of a Joint Undertaking to develop the new generation European air traffic management system (SESAR) [Text] // Official Journal of the European Union, L64. – Brussels, 2007. - 3 p.
6. Ongoing Projects – Asses mode: 13.052020 <https://www.sesarju.eu/activities-projects>
7. European ATM Master Plan, Executive View, Edition 2015 [Text] // SESAR Joint Undertaking. – Luxembourg, 2015. – 5 p.
8. Artificial intelligent in Air Traffic Management – Asses mode: 13.052020 <https://www.sesarju.eu/node/3024>
9. DART. Data Driven Aircraft Trajectory Prediction Research. Retrieved from <http://dart-research.eu/03-work-plan/work-progress/data-enhanced-trajectory-based-operations-workshop/>
10. Searidge Technologies. Collaborative Airport Surface Management Solutions. Retrieved from <https://www.airport-technology.com/contractors/traffic/searidge-technologies/>



11. Digital Towers. The Future of Air Traffic Control. Retrieved from <https://searidgetech.com/solutions/digital-towers/>
12. Naveen Joshi. "7 Types Of Artificial Intelligence." © 2020 Forbes Media LLC. All Rights Reserved. Jun 19. 2019. Retrieved from <https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2019/06/19/7-types-of-artificial-intelligence/#433a057d233e>
13. Poole, D. L., & Mackworth, A. K. (2010). Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents
14. Crevier, D. (1993). AI: The Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence. BasicBooks
15. Huang, G. B., Zhou, H., Ding, X., & Zhang, R. (2012). Extreme learning machine for regression and multiclass classification. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 42(2), 513-529.
16. Scherer, D., Muller, A., Behnke, S., & Grabner, H. (2018). Evaluating the Impact of the Human-Machine Interaction on the Flight Performance of Neural-Network-Based UAV Controllers. Frontiers in Neurorobotics, 12, 16.
17. Official ICAO Website ([www.icao.int](http://www.icao.int))
18. FAA Safety Information ([www.faa.gov/safety](http://www.faa.gov/safety))
19. EASA Official Website ([www.easa.europa.eu](http://www.easa.europa.eu))
20. IATA Aviation Safety ([www.iata.org/safety](http://www.iata.org/safety))
21. NASA Aviation Safety Program ([www.nasa.gov/content/aviation-safety-program](http://www.nasa.gov/content/aviation-safety-program))
22. Глібов М.І., Гречко К.О., Гусак В.О., Лабенський М.І. Навчальний посібник: Аеронавігація та сучасні польотні комп'ютери. - Київ: НАУ, 2019.
23. Міщенко А.В. Основи аеронавігації: Навч. посібник. - Київ: МАУП, 2014.
24. Про затвердження Авіаційних правил України «Організація повітряного руху»: Наказ Державної авіаційної служби України від 09.12.2021 № 1920. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 07 лютого 2022 р. за №

165/37501 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0165-22#Text>

25. *Про затвердження Авіаційних правил України «Обслуговування повітряного руху»*: Наказ Державної авіаційної служби України від 16.04.2019 № 475. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 4 липня 2019 р. за № 727/33698 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0727-19>.

26. Мультилатераційні системи спостереження повітряного руху. Навчальний посібник. Під загальною редакцією Яковлєва О.І. – К.: ДПОПР України. – С. 2010 – 192.

27. Повітряний кодекс України: Постанова Верховної Ради від 19.05.2011 р N 3393-VI. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17#Text>

28. How to Operationalize AI Ethics? <https://www.unite.ai/how-to-operationalize-ai-ethics/>

29. Promoting Accountability and Ethical Integration of AI: Insights from Anna Bulakh <https://respeecher.medium.com/promoting-accountability-and-ethical-integration-of-ai-insights-from-anna-bulakh-2a6400673d49>

30. [https://www.indracompany.com/sites/default/files/atc\\_automationsystem\\_0.pdf](https://www.indracompany.com/sites/default/files/atc_automationsystem_0.pdf)

31. [https://www.indracompany.com/sites/default/files/inresilience\\_0.pdf](https://www.indracompany.com/sites/default/files/inresilience_0.pdf)

32. <https://arxiv.org/pdf/1806.02169v2.pdf>

33. <https://arxiv.org/pdf/2104.02901v2.pdf>

34. <https://arxiv.org/pdf/2210.15418v1.pdf>

35. Ісаєнко В.М. Захист навколишнього середовища в авіатранспортних процесах : підручник / В. М. Ісаєнко, С. В. Бойченко, К. О. Бабікова, О. О. Вовк. – К.: НАУ, 2020. – 320 с.

36. Ткачук К.Н. Основи охорони праці: Підручник. 21ге видання, доповнене та перероблене / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006. — 448 с

## Додаток 1.

```

import librosa
import librosa.filters
import numpy as np
import tensorflow as tf
from scipy import signal
from scipy.io import wavfile
# from synthesizer.ppg import compute_full_ppg_wrapper, compute_monophone_ppg,
DependenciesPPG, feat

# ppg_deps = DependenciesPPG()

def load_wav(path, sr):
    return librosa.core.load(path, sr=sr)[0]

def save_wav(wav, path, sr):
    wav *= 32767 / max(0.01, np.max(np.abs(wav)))
    #proposed by @dsmiller
    wavfile.write(path, sr, wav.astype(np.int16))

def save_wavenet_wav(wav, path, sr):
    librosa.output.write_wav(path, wav, sr=sr)

def preemphasis(wav, k, preemphasize=True):
    if preemphasize:
        return signal.lfilter([1, -k], [1], wav)
    return wav

def inv_preemphasis(wav, k, inv_preemphasize=True):
    if inv_preemphasize:
        return signal.lfilter([1], [1, -k], wav)
    return wav

#From https://github.com/r9y9/wavenet_vocoder/blob/master/audio.py
def start_and_end_indices(quantized, silence_threshold=2):
    for start in range(quantized.size):
        if abs(quantized[start] - 127) > silence_threshold:
            break
    for end in range(quantized.size - 1, 1, -1):
        if abs(quantized[end] - 127) > silence_threshold:
            break

    assert abs(quantized[start] - 127) > silence_threshold
    assert abs(quantized[end] - 127) > silence_threshold

    return start, end

def get_hop_size(hparams):
    hop_size = hparams.hop_size
    if hop_size is None:
        assert hparams.frame_shift_ms is not None

```

```

    hop_size = int(hparams.frame_shift_ms / 1000 * hparams.sample_rate)
    return hop_size

def linearspectrogram(wav, hparams):
    D = _stft(preemphasis(wav, hparams.preemphasis, hparams.preemphasize), hparams)
    S = _amp_to_db(np.abs(D), hparams) - hparams.ref_level_db

    if hparams.signal_normalization:
        return _normalize(S, hparams)
    return S

def melspectrogram(wav, hparams):
    D = _stft(preemphasis(wav, hparams.preemphasis, hparams.preemphasize), hparams)
    S = _amp_to_db(_linear_to_mel(np.abs(D), hparams), hparams) - hparams.ref_level_db

    if hparams.signal_normalization:
        return _normalize(S, hparams)
    return S

def inv_linear_spectrogram(linear_spectrogram, hparams):
    """Converts linear spectrogram to waveform using librosa"""
    if hparams.signal_normalization:
        D = _denormalize(linear_spectrogram, hparams)
    else:
        D = linear_spectrogram

    S = _db_to_amp(D + hparams.ref_level_db) #Convert back to linear

    if hparams.use_lws:
        processor = _lws_processor(hparams)
        D = processor.run_lws(S.astype(np.float64).T ** hparams.power)
        y = processor.istft(D).astype(np.float32)
        return inv_preemphasis(y, hparams.preemphasis, hparams.preemphasize)
    else:
        return inv_preemphasis(_griffin_lim(S ** hparams.power, hparams),
                               hparams.preemphasis, hparams.preemphasize)

def inv_mel_spectrogram(mel_spectrogram, hparams):
    """Converts mel spectrogram to waveform using librosa"""
    if hparams.signal_normalization:
        D = _denormalize(mel_spectrogram, hparams)
    else:
        D = mel_spectrogram

    S = _mel_to_linear(_db_to_amp(D + hparams.ref_level_db), hparams) # Convert back to
    linear

    if hparams.use_lws:
        processor = _lws_processor(hparams)
        D = processor.run_lws(S.astype(np.float64).T ** hparams.power)
        y = processor.istft(D).astype(np.float32)
        return inv_preemphasis(y, hparams.preemphasis, hparams.preemphasize)

```

```

    else:
        return inv_preemphasis(_griffin_lim(S ** hparams.power, hparams),
                               hparams.preemphasis, hparams.preemphasize)

def _lws_processor(hparams):
    import lws
    return lws.lws(hparams.n_fft, get_hop_size(hparams), fftsize=hparams.win_size,
                  mode="speech")

def _griffin_lim(S, hparams):
    """librosa implementation of Griffin-Lim
    Based on https://github.com/librosa/librosa/issues/434
    """
    angles = np.exp(2j * np.pi * np.random.rand(*S.shape))
    S_complex = np.abs(S).astype(np.complex)
    y = _istft(S_complex * angles, hparams)
    for i in range(hparams.griffin_lim_iters):
        angles = np.exp(1j * np.angle(_stft(y, hparams)))
        y = _istft(S_complex * angles, hparams)
    return y

def _stft(y, hparams):
    if hparams.use_lws:
        return _lws_processor(hparams).stft(y).T
    else:
        return librosa.stft(y=y, n_fft=hparams.n_fft, hop_length=get_hop_size(hparams),
                            win_length=hparams.win_size)

def _istft(y, hparams):
    return librosa.istft(y, hop_length=get_hop_size(hparams), win_length=hparams.win_size)

#####
#Those are only correct when using lws!!! (This was messing with Wavenet quality for a long
time!)
def num_frames(length, fsize, fshift):
    """Compute number of time frames of spectrogram
    """
    pad = (fsize - fshift)
    if length % fshift == 0:
        M = (length + pad * 2 - fsize) // fshift + 1
    else:
        M = (length + pad * 2 - fsize) // fshift + 2
    return M

def pad_lr(x, fsize, fshift):
    """Compute left and right padding
    """
    M = num_frames(len(x), fsize, fshift)
    pad = (fsize - fshift)
    T = len(x) + 2 * pad
    r = (M - 1) * fshift + fsize - T

```

```

    return pad, pad + r
#####
#Librosa correct padding
def librosa_pad_lr(x, fsize, fshift):
    return 0, (x.shape[0] // fshift + 1) * fshift - x.shape[0]

# Conversions
_mel_basis = None
_inv_mel_basis = None

def _linear_to_mel(spectrogram, hparams):
    global _mel_basis
    if _mel_basis is None:
        _mel_basis = _build_mel_basis(hparams)
    return np.dot(_mel_basis, spectrogram)

def _mel_to_linear(mel_spectrogram, hparams):
    global _inv_mel_basis
    if _inv_mel_basis is None:
        _inv_mel_basis = np.linalg.pinv(_build_mel_basis(hparams))
    return np.maximum(1e-10, np.dot(_inv_mel_basis, mel_spectrogram))

def _build_mel_basis(hparams):
    assert hparams.fmax <= hparams.sample_rate // 2
    return librosa.filters.mel(hparams.sample_rate, hparams.n_fft, n_mels=hparams.num_mels,
                               fmin=hparams.fmin, fmax=hparams.fmax)

def _amp_to_db(x, hparams):
    min_level = np.exp(hparams.min_level_db / 20 * np.log(10))
    return 20 * np.log10(np.maximum(min_level, x))

def _db_to_amp(x):
    return np.power(10.0, (x) * 0.05)

def _normalize(S, hparams):
    if hparams.allow_clipping_in_normalization:
        if hparams.symmetric_mels:
            return np.clip((2 * hparams.max_abs_value) * ((S - hparams.min_level_db) / (-
hparams.min_level_db)) - hparams.max_abs_value,
                           -hparams.max_abs_value, hparams.max_abs_value)
        else:
            return np.clip(hparams.max_abs_value * ((S - hparams.min_level_db) / (-
hparams.min_level_db)), 0, hparams.max_abs_value)

    assert S.max() <= 0 and S.min() - hparams.min_level_db >= 0
    if hparams.symmetric_mels:
        return (2 * hparams.max_abs_value) * ((S - hparams.min_level_db) / (-
hparams.min_level_db)) - hparams.max_abs_value
    else:
        return hparams.max_abs_value * ((S - hparams.min_level_db) / (-
hparams.min_level_db))

```

```

def _denormalize(D, hparams):
    if hparams.allow_clipping_in_normalization:
        if hparams.symmetric_mels:
            return (((np.clip(D, -hparams.max_abs_value,
                               hparams.max_abs_value) + hparams.max_abs_value) *
                    hparams.min_level_db / (2 * hparams.max_abs_value))
                    + hparams.min_level_db)
        else:
            return ((np.clip(D, 0, hparams.max_abs_value) * -hparams.min_level_db /
                    hparams.max_abs_value) + hparams.min_level_db)

    if hparams.symmetric_mels:
        return (((D + hparams.max_abs_value) * -hparams.min_level_db / (2 *
                    hparams.max_abs_value)) + hparams.min_level_db)
    else:
        return ((D * -hparams.min_level_db / hparams.max_abs_value) + hparams.min_level_db)

def get_ppg(wav, fs, shift):
    wave_data = feat.read_wav_kaldi_internal(wav, fs)
    seq = compute_full_ppg_wrapper(wave_data, ppg_deps.nnet, ppg_deps.lda, shift)
    return seq

def get_monophone_ppg(wav, fs, shift):
    wave_data = feat.read_wav_kaldi_internal(wav, fs)
    seq = compute_monophone_ppg(wave_data, ppg_deps.nnet, ppg_deps.lda,
    ppg_deps.monophone_trans, shift)
    return seq

```

Додаток 2.

```

from encoder.visualizations import Visualizations
from encoder.data_objects import SpeakerVerificationDataset, SpeakerVerificationDataLoader,
from encoder.params_model import *
from encoder.model import SpeakerEncoder
from utils.profiler import Profiler
from pathlib import Path
import torch

def sync(device: torch.device):
    # FIXME
    return
    # For correct profiling (cuda operations are async)
    if device.type == "cuda":
        torch.cuda.synchronize(device)

def train(run_id: str, clean_data_root: Path, models_dir: Path, umap_every: int, save_every: int,
          backup_every: int, vis_every: int, force_restart: bool, visdom_server: str,
          no_visdom: bool):
    # Create a dataset and a dataloader
    dataset = SpeakerVerificationDataset(clean_data_root)
    loader = SpeakerVerificationDataLoader(
        dataset,
        speakers_per_batch,
        utterances_per_speaker,
        num_workers=8,
    )

    # Setup the device on which to run the forward pass and the loss. These can be different,
    # because the forward pass is faster on the GPU whereas the loss is often (depending on your
    # hyperparameters) faster on the CPU.
    device = torch.device("cuda" if torch.cuda.is_available() else "cpu")
    # FIXME: currently, the gradient is None if loss_device is cuda
    loss_device = torch.device("cpu")

    # Create the model and the optimizer
    model = SpeakerEncoder(device, loss_device)
    optimizer = torch.optim.Adam(model.parameters(), lr=learning_rate_init)
    init_step = 1

    # Configure file path for the model
    state_fpath = models_dir.joinpath(run_id + ".pt")
    backup_dir = models_dir.joinpath(run_id + "_backups")

    # Load any existing model
    if not force_restart:
        if state_fpath.exists():
            print("Found existing model \"%s\", loading it and resuming training." % run_id)
            checkpoint = torch.load(state_fpath)
            init_step = checkpoint["step"]
            model.load_state_dict(checkpoint["model_state"])

```



```

        optimizer.load_state_dict(checkpoint["optimizer_state"])
        optimizer.param_groups[0]["lr"] = learning_rate_init
    else:
        print("No model \"%s\" found, starting training from scratch." % run_id)
else:
    print("Starting the training from scratch.")
model.train()

# Initialize the visualization environment
vis = Visualizations(run_id, vis_every, server=visdom_server, disabled=no_visdom)
vis.log_dataset(dataset)
vis.log_params()
device_name = str(torch.cuda.get_device_name(0) if torch.cuda.is_available() else "CPU")
vis.log_implementation({"Device": device_name})

# Training loop
profiler = Profiler(summarize_every=10, disabled=False)
for step, speaker_batch in enumerate(loader, init_step):
    profiler.tick("Blocking, waiting for batch (threaded)")

    # Forward pass
    inputs = torch.from_numpy(speaker_batch.data).to(device)
    sync(device)
    profiler.tick("Data to %s" % device)
    embeds = model(inputs)
    sync(device)
    profiler.tick("Forward pass")
    embeds_loss = embeds.view((speakers_per_batch, utterances_per_speaker,
1)).to(loss_device)
    loss, eer = model.loss(embeds_loss)
    sync(loss_device)
    profiler.tick("Loss")

    # Backward pass
    model.zero_grad()
    loss.backward()
    profiler.tick("Backward pass")
    model.do_gradient_ops()
    optimizer.step()
    profiler.tick("Parameter update")

    # Update visualizations
    # learning_rate = optimizer.param_groups[0]["lr"]
    vis.update(loss.item(), eer, step)

    # Draw projections and save them to the backup folder
    if umap_every != 0 and step % umap_every == 0:
        print("Drawing and saving projections (step %d)" % step)
        backup_dir.mkdir(exist_ok=True)
        projection_fpath = backup_dir.joinpath("%s_umap_%06d.png" % (run_id, step))
        embeds = embeds.detach().cpu().numpy()
        vis.draw_projections(embeds, utterances_per_speaker, step, projection_fpath)

```

```
vis.save()

# Overwrite the latest version of the model
if save_every != 0 and step % save_every == 0:
    print("Saving the model (step %d)" % step)
    torch.save({
        "step": step + 1,
        "model_state": model.state_dict(),
        "optimizer_state": optimizer.state_dict(),
    }, state_fpath)

# Make a backup
if backup_every != 0 and step % backup_every == 0:
    print("Making a backup (step %d)" % step)
    backup_dir.mkdir(exist_ok=True)
    backup_fpath = backup_dir.joinpath("%s_bak_%06d.pt" % (run_id, step))
    torch.save({
        "step": step + 1,
        "model_state": model.state_dict(),
        "optimizer_state": optimizer.state_dict(),
    }, backup_fpath)

profiler.tick("Extras (visualizations, saving)")
```

## Додаток 3

```

from vocoder.models.fatchord_version import WaveRNN
from vocoder.vocoder_dataset import VocoderDataset, collate_vocoder
from vocoder.distribution import discretized_mix_logistic_loss
from vocoder.display import stream, simple_table
from vocoder.gen_wavernn import gen_testset
from torch.utils.data import DataLoader
from pathlib import Path
from torch import optim
import torch.nn.functional as F
import vocoder.hparams as hp
import numpy as np
import time

def train(run_id: str, syn_dir: Path, voc_dir: Path, models_dir: Path, ground_truth: bool,
         save_every: int, backup_every: int, force_restart: bool):
    # Check to make sure the hop length is correctly factorised
    assert np.cumprod(hp.voc_upsample_factors)[-1] == hp.hop_length

    # Instantiate the model
    print("Initializing the model...")
    model = WaveRNN(
        rnn_dims=hp.voc_rnn_dims,
        fc_dims=hp.voc_fc_dims,
        bits=hp.bits,
        pad=hp.voc_pad,
        upsample_factors=hp.voc_upsample_factors,
        feat_dims=hp.num_mels,
        compute_dims=hp.voc_compute_dims,
        res_out_dims=hp.voc_res_out_dims,
        res_blocks=hp.voc_res_blocks,
        hop_length=hp.hop_length,
        sample_rate=hp.sample_rate,
        mode=hp.voc_mode
    ).cuda()

    # Initialize the optimizer
    optimizer = optim.Adam(model.parameters())
    for p in optimizer.param_groups:
        p["lr"] = hp.voc_lr
    loss_func = F.cross_entropy if model.mode == "RAW" else discretized_mix_logistic_loss

    # Load the weights
    model_dir = models_dir.joinpath(run_id)
    model_dir.mkdir(exist_ok=True)
    weights_fpath = model_dir.joinpath(run_id + ".pt")
    if force_restart or not weights_fpath.exists():
        print("\nStarting the training of WaveRNN from scratch\n")
        model.save(weights_fpath, optimizer)
    else:
        print("\nLoading weights at %s" % weights_fpath)

```

```

model.load(weights_fpath, optimizer)
print("WaveRNN weights loaded from step %d" % model.step)

# Initialize the dataset
metadata_fpath = syn_dir.joinpath("train.txt") if ground_truth else \
    voc_dir.joinpath("synthesized.txt")
mel_dir = syn_dir.joinpath("mels") if ground_truth else voc_dir.joinpath("mels_gta")
wav_dir = syn_dir.joinpath("audio")
dataset = VocoderDataset(metadata_fpath, mel_dir, wav_dir)
test_loader = DataLoader(dataset,
                        batch_size=1,
                        shuffle=True,
                        pin_memory=True)

# Begin the training
simple_table([('Batch size', hp.voc_batch_size),
            ('LR', hp.voc_lr),
            ('Sequence Len', hp.voc_seq_len)])

for epoch in range(1, 350):
    data_loader = DataLoader(dataset,
                            collate_fn=collate_vocoder,
                            batch_size=hp.voc_batch_size,
                            num_workers=2,
                            shuffle=True,
                            pin_memory=True)
    start = time.time()
    running_loss = 0.

    for i, (x, y, m) in enumerate(data_loader, 1):
        x, m, y = x.cuda(), m.cuda(), y.cuda()

        # Forward pass
        y_hat = model(x, m)
        if model.mode == 'RAW':
            y_hat = y_hat.transpose(1, 2).unsqueeze(-1)
        elif model.mode == 'MOL':
            y = y.float()
            y = y.unsqueeze(-1)

        # Backward pass
        loss = loss_func(y_hat, y)
        optimizer.zero_grad()
        loss.backward()
        optimizer.step()

    running_loss += loss.item()
    speed = i / (time.time() - start)
    avg_loss = running_loss / i

    step = model.get_step()
    k = step // 1000

```

```
if backup_every != 0 and step % backup_every == 0 :
    model.checkpoint(model_dir, optimizer)

if save_every != 0 and step % save_every == 0 :
    model.save(weights_fpath, optimizer)

msg = f"| Epoch: {epoch} ({i}/{len(data_loader)}) | " \
      f"Loss: {avg_loss:.4f} | {speed:.1f} " \
      f"steps/s | Step: {k}k | "
stream(msg)

gen_testset(model, test_loader, hp.voc_gen_at_checkpoint, hp.voc_gen_batched,
            hp.voc_target, hp.voc_overlap, model_dir)
print("")
```

## Додаток 4

```

from synthesizer.hparams import hparams
from synthesizer.train import tacotron_train
from utils.argutils import print_args
from synthesizer import infolog
import argparse
import os

def prepare_run(args):
    modified_hp = hparams.parse(args.hparams)
    os.environ["TF_CPP_MIN_LOG_LEVEL"] = str(args.tf_log_level)
    run_name = args.name
    log_dir = os.path.join(args.models_dir, "logs-{}".format(run_name))
    os.makedirs(log_dir, exist_ok=True)
    infolog.init(os.path.join(log_dir, "Terminal_train_log"), run_name, args.slack_url)
    return log_dir, modified_hp

if __name__ == "__main__":
    parser = argparse.ArgumentParser()
    parser.add_argument("name", help="Name of the run and of the logging directory.")
    parser.add_argument("synthesizer_root", type=str, help=\
        "Path to the synthesizer training data that contains the audios and the train.txt file. "\
        "If you let everything as default, it should be <datasets_root>/SV2TTS/synthesizer/.")
    parser.add_argument("-m", "--models_dir", type=str, default="synthesizer/saved_models/",
        help=\
        "Path to the output directory that will contain the saved model weights and the logs.")
    parser.add_argument("--mode", default="synthesis",
        help="mode for synthesis of tacotron after training")
    parser.add_argument("--GTA", default="True",
        help="Ground truth aligned synthesis, defaults to True, only considered "\
        "in Tacotron synthesis mode")
    parser.add_argument("--restore", type=bool, default=True,
        help="Set this to False to do a fresh training")
    parser.add_argument("--warm_start_path", type=str, default=None,
        help="Set to True if finetuning, need restore to be true too")
    parser.add_argument("--summary_interval", type=int, default=2500,
        help="Steps between running summary ops")
    parser.add_argument("--embedding_interval", type=int, default=10000,
        help="Steps between updating embeddings projection visualization")
    parser.add_argument("--checkpoint_interval", type=int, default=2000, # Was 5000
        help="Steps between writing checkpoints")
    parser.add_argument("--eval_interval", type=int, default=100000, # Was 10000
        help="Steps between eval on test data")
    parser.add_argument("--tacotron_train_steps", type=int, default=2000000, # Was 100000
        help="total number of tacotron training steps")
    parser.add_argument("--tf_log_level", type=int, default=1, help="Tensorflow C++ log
    level.")
    parser.add_argument("--slack_url", default=None,
        help="slack webhook notification destination link")
    parser.add_argument("--hparams", default="",

```

```

        help="Hyperparameter overrides as a comma-separated list of name=value "
"pairs")
    args = parser.parse_args()
    print_args(args, parser)

    log_dir, hparams = prepare_run(args)

    tacotron_train(args, log_dir, hparams)

#python                               synthesizer_preprocess_embeds.py
/mnt/data1/waris/datasets/data/arctic_dataset/all_data/SV2TTS/synthesizer
#python                               synthesizer_train.py                Accetron_train
/mnt/data1/waris/datasets/data/arctic_dataset/all_data/SV2TTS/synthesizer    --models_dir
/mnt/data1/waris/model_outputs/accentron/saved_models_gpu
#python                               synthesizer_train.py                Accetron_train_parallel_vctk
/mnt/data1/waris/datasets/data/arctic_dataset/all_data_for_ac_vc/SV2TTS/synthesizer    --
models_dir=/mnt/data1/waris/model_outputs/accentron/parallel

```