

## **Використання штучного інтелекту та великих даних для оптимізації маршрутів польотів і зниження викидів CO<sub>2</sub> у цивільній авіації**

*У доповіді розглядається використання штучного інтелекту та аналізу великих даних для оптимізації маршрутів польотів у цивільній авіації. Акцент зроблено на зниженні витрат палива та скороченні викидів CO<sub>2</sub> через ефективніше прогнозування погодних умов, повітряних потоків та завантаженості повітряного простору.*

Глобальні зміни клімату та посилення вимог до екологічних стандартів ставлять авіаційну галузь перед необхідністю шукати інноваційні рішення для скорочення шкідливих викидів. Авіація відіграє важливу роль у світовій економіці, забезпечуючи швидкі перевезення пасажирів та вантажів. Проте розвиток галузі супроводжується негативним впливом на довкілля, особливо через викиди парникових газів, зокрема CO<sub>2</sub>. У цьому контексті оптимізація маршрутів польотів з використанням сучасних технологій, таких як штучний інтелект (ШІ) і аналіз великих даних (Big Data), є важливим напрямком для досягнення більш сталого розвитку авіації.

Для реалізації вирішення наявних проблем чудово підходить алгоритм A\* (A-star), що є потужним інструментом для пошуку найкоротшого шляху в графах і широко застосовується для вирішення задач оптимізації маршрутів. Він поєднує переваги алгоритму Дейкстри, що забезпечує точність у знаходженні найкоротшого шляху, з евристичними функціями, які дозволяють зменшити час пошуку, ефективно фокусуючи зусилля на найбільш перспективних шляхах.

У алгоритмі A\* ключовими компонентами є функція вартості g(n), яка відображає вартість шляху від початкової точки до вузла (n), евристична функція h(n), що оцінює вартість шляху від вузла (n) до кінцевої точки, і функція загальної вартості f(n), яка є сумою g(n) і h(n). Використання функції f(n) дозволяє алгоритму A\* вибирати вузли для розширення і таким чином швидше знаходити оптимальний шлях.

При реалізації оптимізації маршрутів польотів алгоритм A\* дозволяє знаходити найбільш ефективні маршрути між аеропортами, враховуючи різні фактори, такі як погодні умови, повітряний трафік і технічні характеристики літака. Процес починається з моделювання графу, де вузли представляють точки на карті (аеропорти, ключові точки маршруту), а з'єднання відображають можливі маршрути між цими вузлами. Для кожного з'єднання визначаються відстань і вартість, що може включати час польоту і витрати пального.

Евристична функція h(n) в даному випадку оцінює відстань між поточним вузлом і кінцевою точкою, часто за допомогою географічної відстані. Формула Хаверсина для обчислення цієї відстані виглядає наступним чином:

$$a = \sin^2(\Delta\phi/2) + \cos(\phi_1) \times \cos(\phi_2) \times \sin^2(\Delta\lambda/2)$$

$$c = 2 \times \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a})$$

$$d = R \times c$$

де:

- ( $\Delta\varphi$ ) — різниця широти (в радіанах),
- ( $\Delta\lambda$ ) — різниця довготи (в радіанах),
- ( $\varphi_1$ ) і ( $\varphi_2$ ) — широта початкової та кінцевої точок (в радіанах),
- ( $R$ ) — радіус Землі (приблизно 6371 км),
- ( $d$ ) — відстань між двома точками.

Реалізація алгоритму  $A^*$  починається з ініціалізації списків відкритих і закритих вузлів. Відкритий список містить початковий вузол, тоді як закритий список відслідковує вже перевірені вузли. Для кожного вузла зберігаються значення  $g(n)$  (вартість шляху до вузла),  $h(n)$  (евристична оцінка) і  $f(n)$  (сумарна вартість). Процес розширення вузлів передбачає вибір вузла з найменшим  $f(n)$  з відкритого списку, перевірку всіх сусідніх вузлів і обчислення їх вартостей. Якщо новий шлях до сусіднього вузла має меншу вартість, оновлюються його значення. Вузол переміщується з відкритого списку до закритого після перевірки.

Процес триває до тих пір, поки не буде знайдено кінцевий вузол або відкритий список не стане порожнім. Після знаходження кінцевого вузла оптимальний маршрут відновлюється через збережені попередники.

В оптимізації витрат пального особливу роль відіграє моделювання витрат на основі висоти і швидкості. Спеціалізовані моделі допомагають розрахувати витрати пального на різних висотах і швидкостях. Формула для розрахунку витрат пального виглядає так:

$$\text{Fuel Consumption} = \text{Distance} \times (\text{Fuel Flow Rate} / \text{Aircraft Efficiency})$$

де:

- Distance — відстань між вузлами,
- Fuel Flow Rate — витрати пального на одиницю часу або відстані,
- Aircraft Efficiency — ефективність використання пального літаком.

Адаптація маршруту для зменшення витрат включає аналіз погодних умов, прогнозування їх впливу на витрати пального та корекцію маршруту для використання сприятливих умов. Оптимізація профілю польоту також важлива; вибір оптимальної висоти і швидкості для зменшення витрат пального дозволяє досягти ефективних результатів.

Для реалізації в системах управління польотами алгоритм  $A^*$  інтегрується з даними про витрати пального, погодні умови і параметри літака. Постійний моніторинг і корекція маршруту в реальному часі дозволяють зменшити витрати пального і підвищити ефективність польотів.

Окрім економічних переваг, оптимізація маршрутів польотів має вагомий екологічний аспект. Авіація є одним із основних джерел викидів вуглекислого газу, що сприяє глобальному потеплінню. За оцінками Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO), на авіацію припадає близько 2% від загальних викидів  $\text{CO}_2$  на планеті. Це виглядає незначною цифрою в глобальному масштабі, але зі зростанням кількості рейсів ця частка постійно збільшується.

Оптимізація маршрутів за допомогою ШІ дозволяє скоротити споживання палива на 5-10%, що безпосередньо зменшує кількість викидів  $\text{CO}_2$ . Крім того, ШІ може допомогти виявити найбільш екологічні стратегії управління повітряним рухом, що ще більше знижує екологічне навантаження на атмосферу.

## Висновки.

Реалізація алгоритму  $A^*$  для оптимізації маршрутів польотів підтвердила свою ефективність у підвищенні точності та швидкості планування авіаційних маршрутів. Використання цього алгоритму дозволяє значно зменшити витрати пального та час польоту, що є критично важливим для зниження операційних витрат авіакомпаній та підвищення загальної ефективності авіаційних операцій.

Швидкість виконання алгоритму  $A^*$  також є значною перевагою. Завдяки своїй здатності ігнорувати непродуктивні гілки графа і зосереджувати обчислювальні ресурси на перспективних шляхах, алгоритм забезпечує швидкий пошук найкращого маршруту. Це дозволяє авіаційним компаніям отримувати оптимальні рішення за короткий час, що важливо для оперативного планування польотів.

Таким чином, використання алгоритму  $A^*$  в системах управління польотами представляє значний крок вперед у сфері авіаційного планування. Це дозволяє зменшити витрати, підвищити ефективність і зменшити екологічний вплив авіаційних операцій. Перспективи подальших досліджень у цій області включають вдосконалення моделей для ще точнішого прогнозування витрат та інтеграцію нових технологій для підвищення адаптивності системи.

## Список літератури

1. Malene H. Deep Learning and Machine Learning Algorithms for Enhanced Aircraft Maintenance and Flight Data Analysis. – Sao Luis - MA, 2023. – 10 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://anapub.co.ke/journals/jrs/jrs\\_pdf/2023/jrs\\_volume01/JRS202301009.pdf](https://anapub.co.ke/journals/jrs/jrs_pdf/2023/jrs_volume01/JRS202301009.pdf) (Дата звернення 10.09.2024).
2. Kabashkin I. Artificial Intelligence in Aviation: New Professionals for New Technologies / I. Kabashkin, B. Misnevs, O. Zernina // – Transport and Telecommunication Institute – Latvia, 2023. – 33 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/21/11660> (Дата звернення 10.09.2024).
3. Bela P.Collins. Estimation of aircraft fuel consumption. – The MITRE Corporation, McLean – Virginia, 1982. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arc.aiaa.org/doi/epdf/10.2514/3.44799> (Дата звернення 10.09.2024).
4. Trani A. A. A Neural Network Model to Estimate Aircraft Fuel Consumption / Antonio Trani, F. Wing-Ho, Glen Schilling, Hojong Baik, Anand Seshadri // – Department of Civil and Environmental Engineering Virginia Polytechnic Institute and state University – Chicago, 2004. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arc.aiaa.org/doi/epdf/10.2514/6.2004-6401> (Дата звернення 10.09.2024).
5. Zailong Zhang. A-star algorithm for expanding the number of search directions in path planning / Zailong Zhang, Shanyu Wang, Jianwei Zhou // – 2021 2nd International Seminar on Artificial Intelligence, Networking and Information Technology (AINIT), Shanghai, China, 2021. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9725105> (Дата звернення 10.09.2024).