

Agendamento de Pousos de Aeronaves

Eduardo Henke

Contexto do Problema

- Ao entrar no alcance do radar do controle de tráfego aéreo (ATC):
 - O avião precisa ser atribuído um **horário de pouso** x_i dentro de uma janela de tempo específica $[E_i, L_i]$.
 - Se houver mais de uma pista, deve ser atribuída uma **pista** r também.
- **Objetivo:** Garantir pousos seguros mantendo a separação entre aeronaves e minimizando os custos relacionados ao desvio do horário de pouso preferido T_i .

Restrições

- **Janela de Tempo:**

- Cada avião i tem um horário de pouso mais cedo E_i e um mais tarde L_i .
 - E_i : Horário mais cedo se o avião voar à velocidade máxima.
 - L_i : Horário mais tarde, considerando a eficiência de combustível e o tempo máximo de espera.

- **Tempo de Separação:**

- Cada par de aviões (i, j) deve manter um tempo mínimo de separação S_{ij} entre seus pousos:
 - Exemplo: Um Boeing 747 precisa de mais tempo de separação em relação a um avião menor, por conta da turbulência gerada.

Função Objetivo - Minimizar o Custo Total

- O custo é incorrido quando o avião pousa antes ou depois do horário alvo T_i :
 - Pouso antes de T_i gera um custo, pouso depois também.
 - O objetivo é minimizar a soma dos custos para todos os aviões.

Exemplo: Caso de Pista Única

Objetivo: Determinar os horários de pouso x_i para cada avião i de forma que:

1. $x_i \in [E_i, L_i]$, ou seja, o avião pouse dentro da janela de tempo.
 2. A condição de separação $x_j \geq x_i + S_{ij}$ seja respeitada para cada par de aviões (i, j) .
- **Exemplo Simples:**
 - O avião A tem uma janela de tempo de 10h às 10h30.
 - O avião B tem uma janela de 10h20 às 11h.
 - Se o tempo de separação for 10 minutos, o avião A deve pousar antes de B, com uma separação mínima de 10 minutos.

Representação da solução

- Representação da solução, é uma lista ordenada de pousos, onde um pouso é uma tupla (ID Avião, Horário de Pouso).
- A estrutura de vizinhança então será pegar um pouso aleatório e mudar o seu tempo aleatoriamente, respeitando a janela de tempo do avião (E_i, L_i).

Complexidades Práticas

- **Alocação de Pistas:** Para várias pistas, além do horário de pouso, deve-se alocar cada avião a uma pista r .
 - Exemplo: Dois aviões podem pousar ao mesmo tempo se estiverem em pistas separadas.
- **Outras Complexidades:**
 - A gestão em tempo real das operações.
 - Garantir que aviões maiores não afetem os menores devido à turbulência.
 - Tempo de espera no ar ou no solo, conforme a disponibilidade dos portões.

Aplicações e Conclusão

- **Aeroportos** : Agendamento eficiente de pousos reduz custos e aumenta a segurança.
- **Otimização do Tráfego Aéreo** : Maximiza o uso das pistas, minimizando atrasos e custos de combustível.
- **Ajustes em Tempo Real** : Os princípios podem ser aplicados a mudanças como condições meteorológicas ou atrasos inesperados.
- **Métodos de Otimização** : Técnicas como metaheurísticas ajudam a maximizar a capacidade das pistas e reduzir atrasos.