



TECHNOLOGIE DOPRAVY A LOGISTIKA

CVIČENÍ 5 - ŘEŠENÍ ÚLOH

Letecká doprava

Rozdělení vzdušného prostoru (řízený a neřízený prostor, 7 zón)

Letové trasy, bezpečné oddělení – sloty (1000/2000 stop - 300/600 m)

kde je málo místa?

nedostatek slotů (např. trasy přes Atlantik, JV Asie)

CVSM/RVSM - Conventional / Reduced Vertical Separation Minima

Příklad 1

Přidělování slotů – představme si problém přidělování jednoho slotu, zde je seznam požadavků na rezervaci tras, jak je odbavíme (bez ohledu na kapacitu všech ostatních prvků)?

Let	Směr	ETOT	ETO	CTOT	CTO	Delay
F1	TB2	7:30	9:06			
F2	TB2	7:35	9:10			
F3	TB2	7:35	10:25			
F4	TB1	8:40	9:19			
F5	TB1	8:45	9:25			
F6	TB1	9:00	9:55			
F7	TB1	10:05	10:31			
F8	TB1	10:05	10:35			
F9	TB2	7:35	10:30			
F10	TB1	8:40	9:16			

Sloty přidělujeme mezi směry TB1 a TB2 po 15 minutách počínaje směrem TB2

TB2: 9.00-9.15, 9.30-9.45, ...

TB1: 9.15-9.30, 9.45-10.00, ...

princip FIFO - first in - first out, nebo-li fronta (kdo první přijde, je první na řadě)

etot - Estimated Time of Take-off - požadovaný vzlet

eto - Estimated Time of Operation - požadovaný průlet

ctot - Calculated Time of Take-off - vypočtený vzlet

cto - Calculated Time of Operation - vypočtený průlet



Řešení:

Let	Směr	etot	eto	ctot	cto	delay	pořadí
F1	TB2	7:30	9:06	7:30	9:06	0	1
F2	TB2	7:35	9:10	7:55	9:30	20	3
F3	TB2	7:35	10:25	7:40	10:30	5	7
F4	TB1	8:40	9:19	9:06	9:45	26	4
F5	TB1	8:45	9:25	9:20	10:00	35	5
F6	TB1	9:00	9:55	9:20	10:15	20	6
F7	TB1	10:05	10:31	10:19	10:45	14	8
F8	TB1	10:05	10:35	10:45	11:15	40	10
F9	TB2	7:35	10:30	8:05	11:00	30	9
F10	TB1	8:40	9:16	8:40	9:16	0	2

čas \ pref. směr	TB2	TB1	TB2	TB1
9:00	F1	F10	F2	F4
10:00	F5*	F6	F3	F7
11:00	F9	F8	x	x

* obsazeno letadlem v jiném směru než preferovaném, ve kterém nebyla poptávka
Optimalizovali jsme jen pro jeden slot, trasu je ale třeba přidělit celou v příslušném prostoru!

Příklad 2

Optimální pořadí letadel při přistání podle hmotnosti

přistávání - za ním vznikají turbulence v úplavu (uspořádaný -> neuspořádaný pohyb vzduchu)

vznikají i za letu, ale rostou při klesání

pro další letadlo v lepším případě otřesy, v horším ztráta vztlaku, pád!

větší turbulence za větším letadlem

záleží na pořadí: větší za menším -> kratší rozestupy

3 skupiny dle MTOW (Maximum TakeOff Weight - maximální hmotnost při vzletu)



Light	Medium	Heavy	Super heavy
do 7 t Cesna Čmelák	7-136 t skoro všechno B-737 A-320 A-321 Concorde*	nad 136 t B-747	A-380 An 225 (když přepravuje tank :-)

* z hlediska turbulencí patří ale do kategorie Heavy

Zadání:

Blíží se tři letadla H, M, L (přibližně souběžně, ve stejné letové hladině)

Hledáme optimální program pro minimalizaci času obsazení.

Separační matice Sep [s] - udává bezpečné rozestupy pro let následujícího letadla už během přiblížení

1. \ 2.	H	M	L
H	124	159	208
M	87	89	177
L	87	89	94

Řešení:

Kolik je způsobů seřazení dvou za sebou, když záleží na pořadí?

$3! = 6$ (permutace) - neplatí ale při vyšších počtech letadel jednotlivých kategorií

=> metoda větvení a mezí (branch & bound)

Cíl:

snížit výpočetní náročnost

- 20 x 20 by už nestačilo hrubou silou
- vytváří z předpokladu stromovou strukturu
- kterou z větví (ne)můžeme dále vyřadit?
- cílem minimalizace celkového času výpočtu

H < M H < M < L horní: $159 + 177 = 336$ dolní: $159 + (n-2)Sep_{min} = 159 + 87 = 246$	M < H M < H < L horní: $87 + 208 = 295$ dolní: $87 + (n-2)Sep_{min} = 87 + 87 = \mathbf{174}$
---	---



- 1) zvolíme dopravní program vyhovující již vybraným podmínkám
- 2) spočteme Horní mez: součet dopravního programu z matice
- 3) spočteme Dolní mez: co všechno známe? pouze $H < M$, L může být libovolně (3 způsoby přiřazení, hledáme minimum)
- 4) vyhodnotíme: Dolní mez musí být větší než horní mez jiného uzlu! pak můžeme větev zredukovat = nesledovat dále, není v ní optimum
JINAK nelze zredukovat žádnou větev, musíme pokračovat v obou větvích
- 5) zvolím větev, kde mohu očekávat optimum (nižší dolní mez) a v ní libovolnou jinou podmínku

	$M < H$ $M < L$ program: např. $M < H < L$ horní: 295 (stejná) dolní: max z podmínek $M < H$: 174 (stejná) $M < L$: $177 + 87 = 264$ dolní mez tedy 264	$M < H$ $L < M$ program: $L < M < H$ horní: $89 + 87 = 176$ dolní: max z podmínek $M < H$: 174 (stejná) $L < M$: $89 + 87 = 176$ dolní mez tedy 176
2) zde také nebude optimální řešení, protože dolní mez 246 je větší než horní mez sledované větve řešení v pravé větvi 176, proto ani tuto větev nebudeme dále sledovat	1) zde nebude optimální řešení, protože dolní mez 264 je větší než horní mez pravé větve 176, proto tuto větev nemusíme dále sledovat	3) zde je dolní mez = horní mezi = 176 a proto jsme již našli optimální řešení: pořadí L, M, H s časem 176 s

Příklad 3

Kapacita vzletové a přistávací dráhy

V praxi provozovatel letiště neovlivní příliš pořadí typů letadel ve frontě.

Jakou průměrnou kapacitu při znalosti poměrů jednotlivých typů letadel má jeho letiště?

Je dána separační matice S bezpečných rozestupů letadel při přistání

sep [NM]	H	M	L
H	4	5	6
M	3	3	5
L	3	3	3

1 NM = 1,852 km

a pravděpodobnost výskytu jednotlivých typů letadel $\mathbf{p} = (p_H, p_M, p_L) = (\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4})$



Průměrný bezpečný rozestup je pak dán jako

$$s_p = \mathbf{p} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{p}^T$$

Zopakujte si násobení matic :-)

$(1 \times 3) \cdot (3 \times 3) \cdot (3 \times 1) = (1 \times 3) \cdot (3 \times 1) = (1)$ - výsledkem bude jedno číslo

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 4 & 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 4 & 5 & 6 \\ 3 & 3 & 5 \\ 3 & 3 & 3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1/2 \\ 1/4 \\ 1/4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8+3+3 & 10+3+3 & 12+5+3 \\ 4 & 4 & 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1/2 \\ 1/4 \\ 1/4 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 7 & 4 & 5 \\ 2 & & \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1/2 \\ 1/4 \\ 1/4 \end{pmatrix} = \frac{7+4+5}{4} = 4 \text{ NM}$$

Při průměrné bezpečné vzdálenosti 4 NM je průměrný rozestup letadel v čase (rychlost letu 200 km/h)

$$t_p = \frac{4 \cdot 1,852}{200} = 0,037 \text{ hod} = 2,2224 \text{ min}$$

a tedy průměrný počet letadel za hodinu (tj. kapacita dráhy)

$$n_p = \frac{60}{2,2224} = \text{přibližně } 27 \text{ letadel}$$