

Simulační model dálkové osobní železniční dopravy

Ondřej Krčál, Rostislav Staněk
ESF MU, Brno

IX. Seminář Telč 2014
6. 11. 2014

Motivace

Cílem Evropské komise je zvýšit konkurenci na železničním trhu.

Mnoho možných problémů/otázek:

- Jak nastavit frančízové smlouvy?
- Jaký bude dopad vstupu konkurentů na trh?
- ...

Počítačové simulace představují užitečný přístup.



Literatura

Počítačové simulační modely v literatuře:

1. Model PRAISE

- Preston et al. 1999
- Whelan & Johnson 2004
- Johnson & Nash 2012

2. Steer Davies Gleave (2004)

Náš přístup

Výhody oproti ostatním modelům:

- Hledá optimální/rovnovážné ceny a jízdní řády na určité trati.
- Menší potřeba vstupních dat:
 - ideální čas odjezdu/příjezdu
 - ochota zaplatit
 - odhad nákladové funkce dopravců

Nevýhody oproti ostatním modelům:

- velká výpočetní náročnost
 - nutný superpočítač
 - pouze jednotlivá spojení, nikoli část železniční sítě

Cíl prezentace

Prozkoumat použitelnost našeho simulačního modelu v praxi.

Struktura prezentace:

1. struktura modelu – stylizovaný příklad
2. příklad použití modelu – monopol
3. příklad použití modelu – vstup druhého dopravce

Jak funguje model?

Cestující a vlaky jsou rozmístění podél úseček (GUI NetLogo).

Úsečky představují 24 hodin ve vlakových stanicích.

Umístění

- cestujících = preferovaný čas odjezdu
- vlaků = čas odjezdu vlaku

Jak funguje model?

Cestující a vlaky jsou rozmístěni podél úseček (GUI NetLogo).

Úsečky představují 24 hodin ve vlakových stanicích.

Umístění

- cestujících = preferovaný čas odjezdu
- vlaků = čas odjezdu vlaku

Stylizovaný příklad – 2 konečné stanice linky A–B.



Poptávková strana

Závisí na rozmístění cestujících a individuálních popt. funkcích.

Poptávková strana

Závisí na rozmístění cestujících a individuálních popt. funkcích.

V obou stanicích je 500 cestujících s rezervační cenou p^R .

Cestující j si zvolí vlak i s minimálním

$$p + wh_{ij}^2$$

kde

- p je cena
- h_{ij} je posun oproti preferovaném času odjezdu
- w je náklad za posun v čase/minutu

a zvolí jiný způsob dopravy, pokud $p + wh_{ij}^2 > p^R$.

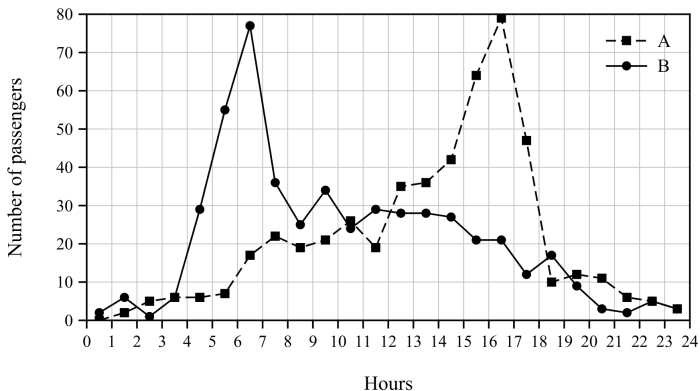
Preferované časy odjezdu

Možnost zavést realistické nerovnoměrné rozdělení cestujících
(špička/sedlo)

Preferované časy odjezdu

Možnost zavést realistické nerovnoměrné rozdělení cestujících (špička/sedlo)

Příklad rozdělení cestujících:



Nabídková strana

Provozovatelé jsou omezení infrastrukturou/technologií a náklady.

Nabídková strana

Provozovatelé jsou omezení infrastrukturou/technologii a náklady.

Příklad omezení infrastrukturou:

- vlaky mohou odjíždět jen v určité časy, např. každých r minut
- určitá souprava může vyjet z konečné stanice každých u minut

Příklad ziskové funkce provozovatele:

$$\Pi = pQ - nC^j - mC^t$$

kde

- pQ jsou příjmy
- nC^j jsou operativní náklady na cesty (n = počet odjezdů)
- mC^t jsou náklady na soupravy (m = počet souprav)

Monopol

Simulace pro všechny kombinace parametrů:

- rezervační cena $p^R = 200$
- náklad za posun v čase/minutu $w = 1/60$
- náklad na cestu $C_j = 2,000$
- denní náklad na soupravu $C_t = \{7,000; 10,000; 13,000\}$
- náhodná distribuce cestujících $RI = 1, 2, 3$
- random-seed $1, 2, 3, \dots, 2000$
- ...

Celkový počet simulací je 18,000 (superpočítač).

Výsledky – monopol

C_t	RI	S	trains m	depart. n	profit π	price p
7,000	1	4	6	28	59,027 (0.56)	175 (0.0006)
	2	43	6	28	57,411 (2.36)	175 (0.0027)
	3	45	6	28	59,257 (2.54)	175 (0.0028)
10,000	1	5	5	24	41,693 (4.3)	175 (0.005)
	2	40	5	24	42,185 (4.1)	175 (0.005)
	3	36	5	22	42,044 (3.1)	175 (0.004)
13,000	1	457	3	12	29,281 (22.3)	175 (0.10)
	2	102	3	14	32,548 (16.6)	173 (1.22)
	3	106	3	14	29,804 (4.9)	173 (0.03)

The profit π and price p show MEAN (SD) of the S simulations producing the same timetable

Výsledky – monopol

C_t	RI	S	trains m	depart. n	profit π	price p
7,000	1	4	6	28	59,027 (0.56)	175 (0.0006)
	2	43	6	28	57,411 (2.36)	175 (0.0027)
	3	45	6	28	59,257 (2.54)	175 (0.0028)
10,000	1	5	5	24	41,693 (4.3)	175 (0.005)
	2	40	5	24	42,185 (4.1)	175 (0.005)
	3	36	5	22	42,044 (3.1)	175 (0.004)
13,000	1	457	3	12	29,281 (22.3)	175 (0.10)
	2	102	3	14	32,548 (16.6)	173 (1.22)
	3	106	3	14	29,804 (4.9)	173 (0.03)

The profit π and price p show MEAN (SD) of the S simulations producing the same timetable

Výsledky – monopol

C_t	RI	S	trains m	depart. n	profit π	price p
7,000	1	4	6	28	59,027 (0.56)	175 (0.0006)
	2	43	6	28	57,411 (2.36)	175 (0.0027)
	3	45	6	28	59,257 (2.54)	175 (0.0028)
10,000	1	5	5	24	41,693 (4.3)	175 (0.005)
	2	40	5	24	42,185 (4.1)	175 (0.005)
	3	36	5	22	42,044 (3.1)	175 (0.004)
13,000	1	457	3	12	29,281 (22.3)	175 (0.10)
	2	102	3	14	32,548 (16.6)	173 (1.22)
	3	106	3	14	29,804 (4.9)	173 (0.03)

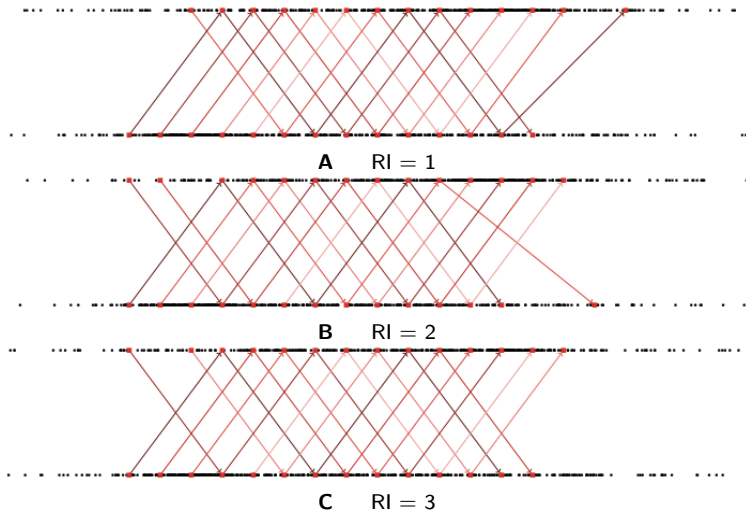
The profit π and price p show MEAN (SD) of the S simulations producing the same timetable

Výsledky – monopol

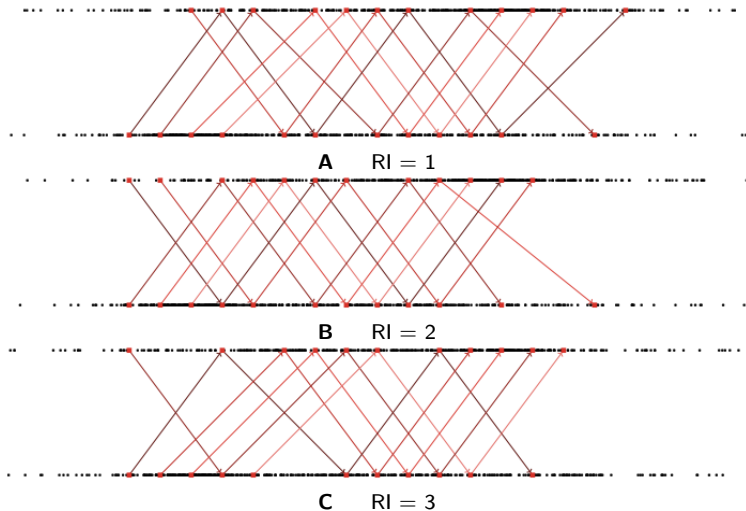
C_t	RI	S	trains m	depart. n	profit π	price p
7,000	1	4	6	28	59,027 (0.56)	175 (0.0006)
	2	43	6	28	57,411 (2.36)	175 (0.0027)
	3	45	6	28	59,257 (2.54)	175 (0.0028)
10,000	1	5	5	24	41,693 (4.3)	175 (0.005)
	2	40	5	24	42,185 (4.1)	175 (0.005)
	3	36	5	22	42,044 (3.1)	175 (0.004)
13,000	1	457	3	12	29,281 (22.3)	175 (0.10)
	2	102	3	14	32,548 (16.6)	173 (1.22)
	3	106	3	14	29,804 (4.9)	173 (0.03)

The profit π and price p show MEAN (SD) of the S simulations producing the same timetable

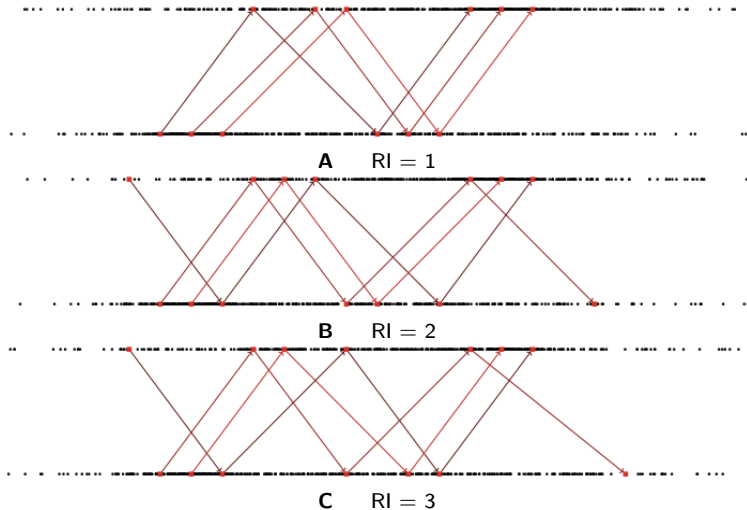
Výsledky – jízdní řády ($C_t = 7,000$)



Výsledky – jízdní řády ($C_t = 10,000$)



Výsledky – jízdní řády ($C_t = 13,000$)



Výsledky – vstup

Simulace pro všechny kombinace parametrů:

- náhodná distribuce cestujících $RI = 3$ a denní náklad na soupravu $C_t^I = \{7,000; 10,000; 13,000\}$
- denní náklad na soupravu $C_t^E = \{C_t^I; C_t^I - 3,000; C_t^I - 6,000\}$
- random-seed 1, 2, 3, ..., 2000

Celkový počet simulací je 18,000 (superpočítač).

Výsledky

C_t^I	C_t^E	m^E	n^E	p^E	p^I	π^E
	1,000	2.2 (0.4)	4.6 (1)	128 (10)	174 (1)	31,160 (932)
7,000	4,000	1.7 (0.5)	4.2 (0.6)	121 (13)	174 (0.7)	24,643 (570)
	7,000	1 (0.2)	4.4 (0.8)	106 (6)	174 (1.2)	20,586 (601)
10,000	4000	1.32 (0.5)	3.1 (1.46)	108 (4.8)	170 (2.8)	17,974 (1,199)
	7,000	1.04 (0.2)	2.58 (1.3)	107 (6.9)	170 (1.6)	14,584 (1,232)
	10,000	1 (0)	2.5 (1)	106 (5.1)	170 (1.7)	11,566 (1,222)
13,000	7,000	1.33 (0.5)	5.1 (1.6)	112 (13)	156 (5)	8,844 (1,424)
	10,000	1.06 (0.2)	4.34 (0.95)	109 (12)	156 (4.2)	5,634 (1,586)
	13,000	1 (0)	4 (0.6)	108 (11)	156 (4)	2,731 (1,738)

Table shows MEAN (SD) of 100 simulations with the highest profit of the entrant π^E .

Výsledky

C_t^I	C_t^E	m^E	n^E	p^E	p^I	π^E
	1,000	2.2 (0.4)	4.6 (1)	128 (10)	174 (1)	31,160 (932)
7,000	4,000	1.7 (0.5)	4.2 (0.6)	121 (13)	174 (0.7)	24,643 (570)
	7,000	1 (0.2)	4.4 (0.8)	106 (6)	174 (1.2)	20,586 (601)
10,000	4000	1.32 (0.5)	3.1 (1.46)	108 (4.8)	170 (2.8)	17,974 (1,199)
	7,000	1.04 (0.2)	2.58 (1.3)	107 (6.9)	170 (1.6)	14,584 (1,232)
	10,000	1 (0)	2.5 (1)	106 (5.1)	170 (1.7)	11,566 (1,222)
13,000	7,000	1.33 (0.5)	5.1 (1.6)	112 (13)	156 (5)	8,844 (1,424)
	10,000	1.06 (0.2)	4.34 (0.95)	109 (12)	156 (4.2)	5,634 (1,586)
	13,000	1 (0)	4 (0.6)	108 (11)	156 (4)	2,731 (1,738)

Table shows MEAN (SD) of 100 simulations with the highest profit of the entrant π_E .

Výsledky

C_t^I	C_t^E	m^E	n^E	p^E	p^I	π^E
	1,000	2.2 (0.4)	4.6 (1)	128 (10)	174 (1)	31,160 (932)
7,000	4,000	1.7 (0.5)	4.2 (0.6)	121 (13)	174 (0.7)	24,643 (570)
	7,000	1 (0.2)	4.4 (0.8)	106 (6)	174 (1.2)	20,586 (601)
10,000	4000	1.32 (0.5)	3.1 (1.46)	108 (4.8)	170 (2.8)	17,974 (1,199)
	7,000	1.04 (0.2)	2.58 (1.3)	107 (6.9)	170 (1.6)	14,584 (1,232)
	10,000	1 (0)	2.5 (1)	106 (5.1)	170 (1.7)	11,566 (1,222)
13,000	7,000	1.33 (0.5)	5.1 (1.6)	112 (13)	156 (5)	8,844 (1,424)
	10,000	1.06 (0.2)	4.34 (0.95)	109 (12)	156 (4.2)	5,634 (1,586)
	13,000	1 (0)	4 (0.6)	108 (11)	156 (4)	2,731 (1,738)

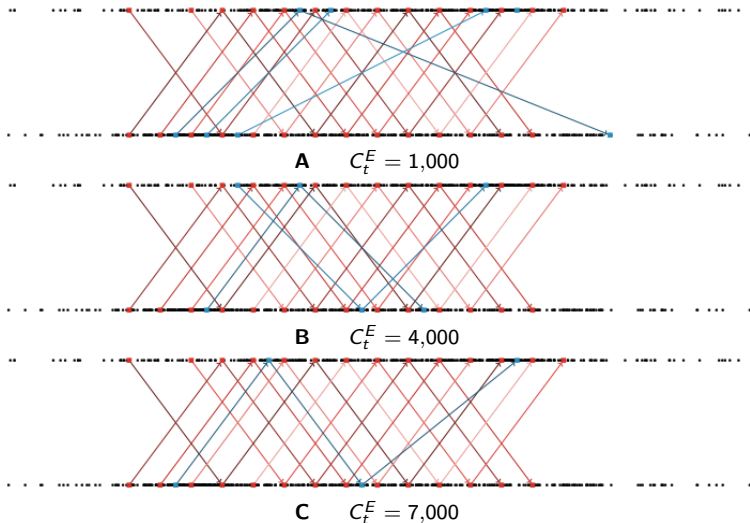
Table shows MEAN (SD) of 100 simulations with the highest profit of the entrant π^E .

Výsledky

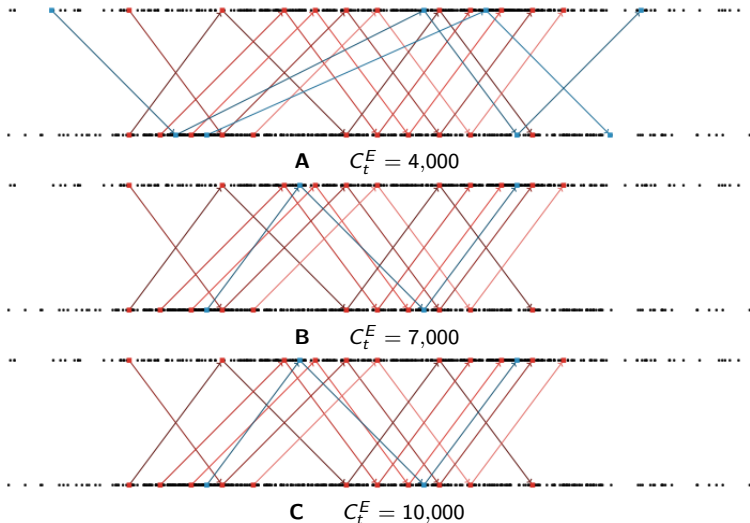
C_t^I	C_t^E	m^E	n^E	p^E	p^I	π^E
	1,000	2.2 (0.4)	4.6 (1)	128 (10)	174 (1)	31,160 (932)
7,000	4,000	1.7 (0.5)	4.2 (0.6)	121 (13)	174 (0.7)	24,643 (570)
	7,000	1 (0.2)	4.4 (0.8)	106 (6)	174 (1.2)	20,586 (601)
10,000	4000	1.32 (0.5)	3.1 (1.46)	108 (4.8)	170 (2.8)	17,974 (1,199)
	7,000	1.04 (0.2)	2.58 (1.3)	107 (6.9)	170 (1.6)	14,584 (1,232)
	10,000	1 (0)	2.5 (1)	106 (5.1)	170 (1.7)	11,566 (1,222)
13,000	7,000	1.33 (0.5)	5.1 (1.6)	112 (13)	156 (5)	8,844 (1,424)
	10,000	1.06 (0.2)	4.34 (0.95)	109 (12)	156 (4.2)	5,634 (1,586)
	13,000	1 (0)	4 (0.6)	108 (11)	156 (4)	2,731 (1,738)

Table shows MEAN (SD) of 100 simulations with the highest profit of the entrant π^E .

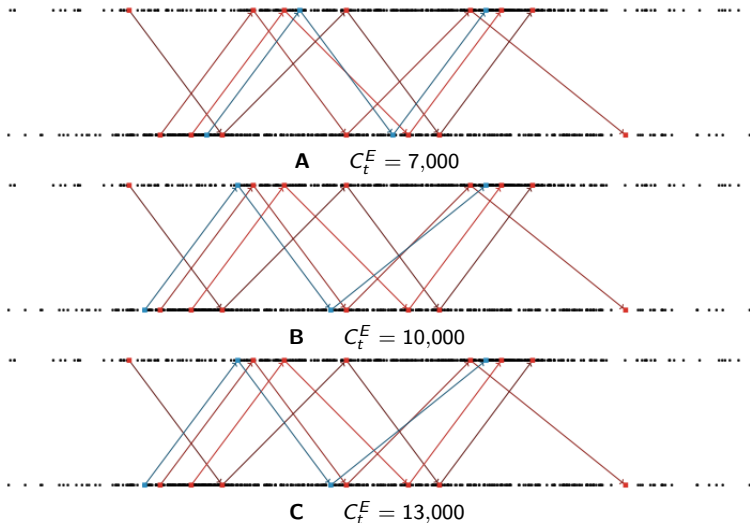
Výsledky – jízdní řády ($C_t^I = 7,000$)



Výsledky – jízdní řády ($C_t^I = 10,000$)



Výsledky – jízdní řády ($C_t^I = 13,000$)



Závěr

Máme flexibilní model dálkové železnice, který hledá optimální (rovnovážné?) ceny a jízní řády.

Relativně snadná kalibrace modelu na reálný trh.

Návrh praktické aplikace:

1. Nakalibrovat na českou/slovenskou trať.
2. Použít k odhadu dopadů vstupu nebo k simulaci dopadů různých nastavení soutěží o trh.