POZNÁMKA K SPOLEHLIVOSTI INTEGROVANÝCH SYSTÉMŮ OSOBNÍ DOPRAVY

Jan Černý

Fakulta managementu Vysoké školy ekonomické, Jindřichův Hradec

Příspěvek vznikl s podporou grantů GAČR 101/98/0377 a 103/97/0825

„A Note on the Reliability of Integrated Passenger Transport Systems“.

The note deals with the system of public passenger transport which consists of two subsystems: 1. The main one and 2. The subordinated one. In a node of change two possibilities of linkage between arriving and departing connections are discussed: a) limited, b) unlimited.

1. Úvod

V současné době si správní orgány na místní i regionální úrovni kladou otázku, zda mají, nebo nemají podporovat vznik integrovaných dopravních systémů, co to přinese jim a co cestující veřejnosti. Je více-méně prokázáno, že správně provedená integrace sníží náklady a zvýší komfort cestujících. Tento příspěvek se zabývá matematickým modelem, umožňujícím zjistit, jak se vypořádat se spolehlivostí integrovaného systému.

U každého dopravního systému rozlišujeme dva typy spolehlivosti

- **D-spolehlivost**, vyjadřující pravděpodobnost toho, že přepravní element dosáhne svého cíle neporušen
- **T-spolehlivost**, vyjadřující pravděpodobnost toho, že přepravní element dosáhne svého cíle ve smluvně stanovenou dobu, případně s tolerovatelným zpožděním.

I když prvně jmenovaná je v osobní dopravě daleko důležitější, moderní systémy osobní dopravy již dosáhly tak vysoké D-spolehlivosti, že spokojenost cestujících v současné době závisí hlavně na T-spolehlivosti systému, jímž cestují. Z těchto důvodů se i my zabýváme právě jí a budeme-li mluvit o spolehlivosti, budeme tím myslet T-spolehlivost.

V článku [cj] je probrán model a metoda, jimiž je možné zajistit žádoucí spolehlivost homogenního systému s povinným neomezeným čekáním přípojů. Je zřejmé, že je možné je použít i v případě systému, vzniklého integrací rovnocenných podsystémů. Naši snahou je nyní ukázat, jak nutno změnit tento model, aby zahrnul i systémy. vzniklé integrací nadřazeného a podřízeného systému, přičemž spoje prvního čekají jen limitovanou dobu na spoje podřízeného systému.

2. Míra spolehlivosti

V [cj] i [cv] se používá u jednotlivého spoje míra spolehlivosti $1 - P\{T > t^{*} + \tau\}$, vyjadřující pravděpodobnost toho, že skutečný odjezd (nebo příjezd) T bude (nebude) o více, než tolerovatelné zpoždění τ opožděn proti předepsanému odjezdu (nebo příjezdu) t^{*}. Za míru spolehlivosti celého systému se pak bere minimum těchto individuálních spolehlivostí pro všechny časové údaje t^{*}, stanovené v systému.

Takováto míra je však vhodná jen pro systémy (homogenní nebo integrované), kde všechny přípoje čekají po neomezenou dobu. Tam, kde je zavedeno čekání limitované, tj. tam, kde odjíždějící spoj čeká maximálně jen do doby $t^* + \tau$, kde t^* je předepsaný odjezd a τ maximální tolerovatelné zpoždění odjíždějícího spoje, tam by mohlo používání výše uvedené míry spolehlivosti zkreslovat situaci. Představme si například dva cestující, kteří přijedou do některé stanice zpožděným spojem v čase $T = t^* + \tau + 1$, kde $\tau = 5$ min. První chce přestoupit na spoj podřízeného a druhý na spoj nadřazeného systému, oba se shodným odjezdem t^*. Předpokládejme, že spoj podřízeného systému neomezeně čeká a první cestující jím odjede se zpožděním $\tau + 1$. Naopak, jestli spoj nadřazeného systému ujede a druhý cestující bude muset čekat na další odjezd stejným směrem v čase třebas $t^* + 120$, bude mít první cestující zpoždění 6 min, kdežto druhý 120, ale z pohledu výše uvedené míry spolehlivosti je to jedno. Prostě, tato míra se nehodí tam, kde malé změně v chodu systému může odpovídat skoková změna zpoždění cestujícího.

V této situaci se nabízí míra spolehlivosti (resp. nespolehlivosti) „integrálního" typu, jako střední hodnota zpoždění. Nechť T je náhodná veličina času, kdy se dostane cestující c na nástupiště nějakého spoje s plánovaným odjezdem t^* a tolerovatelným zpožděním τ. Nechť další odjezdy spojů do stejného směru jsou $t_1, t_2, \ldots$ V případě, že budeme tvořit spojitý model (jenž lépe odpovídá skutečnosti, ale nedá se bez následné diskretizace aplikovat na počítači), pak náhodnou veličinu T zadáme pomocí její hustoty pravděpodobnosti $f_T(t)$ a a střední zpoždění cestujícího c je

$$\mathrm{E}R(c) = \int_{t^*}^{t^*+\tau} (t - t^*) f_T(t)dt + (t_1 - t^*) \int_{t^*+\tau}^{t_1} f_T(t)dt + \sum_{k=1}^{\infty} (t_{k+1} - t^*) \int_{t_k}^{t_{k+1}} f_T(t)dt$$

přičemž pouze s prvním členem vystačíme, čeká-li spoj na opožděné cestující neomezeně dlouho (tj. je-li $\tau = \infty$) a členy za sumací se uplatní jen tehdy, je-li s kladnou pravděpodobností možné, aby cestujícímu ujel i následující přípoj za tím, kterým původně chtěl jet. Nutno též poznamenat, že ve skutečném modelu i čísla t_i mohou být náhodná, pokud spoj bude nucen z jakýchkoli důvodů odjet se zpožděním.

3. Volba odjezdů

Podobně, jako v [cj], je vhodné zavést pojem „důležité stanice", za niž považujeme každou konečnou a přestupní stanici. Má-li nějaký spoj výchozí konečnou z_0, nácestné důležité stanice $z_1, \ldots, z_{m-1}$ a cílovou stanici z_m, pak jej, podobně jako v [cj] rozdělíme na dílčí úsekové spoje a v dalším budeme předpokládat, že všechny spoje jsou jen úsekové. Použijeme tato označení:

n = počet (úsekových) spojů v systému

$S = \{s_1, \ldots, s_n\}$ = množina všech spojů v systému

S_k = množina všech spojů, na něž spoj s_k bezprostředně navazuje jako přípoj

$G = (S,H)$ zobecněný síťový graf návaznosti spojů, kde $(s_i,s_k) \in H$ když $s_i \in S_k$

$q(s)$ = pořadí vrcholu s v grafu G, které získáme takto: Pro ty s_k, pro které $S_k = \emptyset$, definujeme $q(s_k)=0$ a jejich množinu označíme $\underline{S_0}$. Pro všechny ostatní s definujeme $q(s)$ jako délkunejdelší cesty z množiny $\underline{S_0}$ do s, přičemž délku každé hrany z H považujeme za jednotkovou

$t(s)$ = odjezd spoje s (má jen jeden, pracujeme jen s úsekovými spoji), přičemž pro $s\in \underline{S}_0$ předpokládáme, že je dán na začátku, kdežto pro ostatní spoje jej máme zvolit

$C(s)$ = množina cestujících používajících spoj s

$m(s)$ = počet cestujících používajících spoj s

E$\mathbf{R}(s)$ = střední zpoždění cestujících, používajících spoj s

$T(s)$ = náhodná veličina jízdní doby spoje s

r_o = hranice přípustného středního zpoždění.

$$\text{Zřejmě platí } \mathrm{E}\mathbf{R}(s) = \frac{1}{m(s)} \sum_{c\in C(s)} \mathrm{E}R(c)\,.$$

A teď si můžeme zformulovat problém: Pro každý spoj $s\in S - \underline{S}_0$ najít nejvčasnější možný odjezd $t(s)$ tak, aby E$\mathbf{R}(s) \le r_o$.

Řešení bude analogické s [cj]: Pro každý spoj s, pro který $q(s) = 0$, již máme $t(s)$ určen. Pro spoj s_k, pro který $q(s_k) = 1$ si zvolíme libovolné přirozené číslo $t(s_k)$, například jako

$$\max \{t(s)+\mathrm{E}T(s) : s\in S_k\}$$

a vypočteme E$\mathbf{R}(s_k)$. Je-li E$\mathbf{R}(s_k) \le r_o$, nahradíme $t(s_k)$ číslem $t(s_k) - 1$, je-li E$\mathbf{R}(s_k) > r_o$, nahradíme jej číslem $t(s_k) + 1$. Tímto postupem po konečném počtu kroků najdeme nejmenší z těch $t(s_k)$, pro které platí E$\mathbf{R}(s_k) \le r_o$. Tím najdeme odjezdy $t(s_k)$ pro všechny takové s_k, pro které $q(s_k) = 1$. Pak totéž uděláme pro ty s_k, pro které $q(s_k) = 2$, atd.

Literatura

[cj] Černý, J.: *Poznámka k spolehlivosti regionální dopravy.* Sci. Papers of the U. of Pardubice, Series B, 4(1998), in printing.

[cv] Černý, J. a Vašíček, R.: *The Gop-1 Method and its Use in Time Table Preparation.* Rail International 8(1977), 98-103.

Kontaktní adresa:

prof. RNDr. Jan Černý, DrSc., FM VŠE, 37701 Jindřichův Hradec,

☎ (0)331-517203, fax 361349, e-mail cerny@fm.vse.cz.

Recenzoval: doc.RNDr.Bohdan Linda,CSc., Katedra matematiky, FES, UPa