

Formalizace řešení přidělení náhradní nástupištní koleje pro zpožděný vlak

Michael Bažant¹

Michael.Bazant@upce.cz

Michal Žarnay^{**}

Michal.Zarnay@fri.utc.sk

Abstract: One of major profits of train operation simulation models at passenger train station can be analysis of system when time deviations occur. Time deviations in reality of passenger train operation are represented in most cases by arrival delays of trains coming to station.

When the simulation model is supposed to solve the situations with delayed incoming trains, there are two main types of decisions to be made: what train connections of delayed train shall wait for it and what track shall the delayed train use in the station. Solving the second decision-making problem is the subject of this paper.

Klíčová slova: osobní železniční stanice, zpoždění vlaků osobní dopravy, simulace

1 Úvod

Při simulaci provozu osobní železniční stanice se zahrnutím příjezdu vlaků s náhodným zpožděním se vyskytuje několik problémů rozhodování. Dva nejčastěji se vyskytující z nich jsou:

- rozhodování o čekání přípojných vlaků na příjezd zpožděného vlaku a
- rozhodování o přidělení náhradní nástupištní koleje pro zpožděný vlak.

Ve druhém případě jde o situace, kdy v čase příjezdu zpožděného vlaku je již jeho pravidelně užívaná kolej obsazena, resp. nemůže být včas vlaku přidělena.

V realitě tyto situace řeší výpravčí. V simulačním modelu, ve kterém je naším cílem hladký průběh simulačních běhů bez zásahu operátora, musí být nahrazena inteligence výpravčího počítačovými algoritmy.

V příspěvku [1] byla popsána metodika modelování rozhodování o čekání přípojných vlaků na příjezd zpožděného vlaku. V tomto článku se budeme zabývat formalizací řešení následků vzniklého zpoždění vzhledem ke změně v obsazení kolejí.

Metodika rozhodování vychází z pomůcky grafikonu vlakové dopravy „Čekací doby a opatření při vzniku zpoždění vlaků osobní dopravy“.

2 Podklady pro rozhodnutí o přidělení koleje u nástupiště

Při zpoždění příjíždějícího vlaku může dojít k situaci, kdy má tento vlak obsazenu pravidelnou kolej určenou pomůckou GVD „Plán obsazení kolejí“. V tomto případě může být zpožděnému vlaku mimořádně přidělena jiná kolej. S ohledem na přípojné vlaky je samozřejmě možné přidělit příjíždějícímu zpožděnému vlaku jinou kolej i když má volnou

¹ Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra informatiky v dopravě, Studentská 95, 532 10 Pardubice, tel.: +420 466 036 123

^{**} Žilinská univerzita, Fakulta riadenia a informatiky, Katedra dopravných sietí, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, tel.: ++421-41-5134 224

kolej určenou „Plánem obsazení kolejí“. Pro jednodušší vstupní předpoklady ale uvažujme nejprve s možností změny koleje jen u vlaku, který má v době žádosti o nástupištní kolej svou pravidelnou kolej obsazenu.

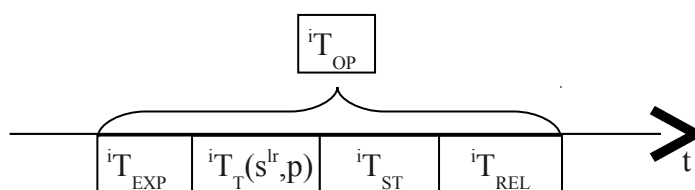
Náhradní kolej operativně přidělí výpravčí opožděnému vlaku s přihlédnutím k:

- aktuálnímu obsazení kolejí ve stanici,
- rozmístění přípojných vlaků,
- plánovanému obsazení kolejí v dalším časovém období.

Důležitým podkladem je také doba obsazení nástupištní koleje opožděným vlakem. Technologická doba obsazení nástupištní koleje - T_{OP} (obr. 1) začíná ještě před příjezdem vlaku na tuto kolej a končí uvolněním nástupištní koleje.

Jako jednotlivé složky doby obsazení T_{OP} bychom mohli rozlišit:

- ${}^i T_{EXP}$ – doba čekání na příjezd vlaku k vjezdovému (poslednímu cestovému) návěstidlu tak, aby vlak nečekal u vjezdového (posledního cestového) návěstidla – začíná okamžikem, kdy je pro vlak r_i přestaveno návěstidlo na návěst dovolující jízdu - ${}^i t_s^h$ (${}^i t_s^{lr}$).¹
- ${}^i T_T(s^{lr}, p)$ – doba jízdy přijíždějícího vlaku od posledního návěstidla před nástupištěm na nástupištní kolej – začíná okamžikem průjezdu vlaku kolem posledního návěstidla před nástupištěm.
- ${}^i T_{ST}$ – doba pobytu vlaku ve stanici – tato doba začíná v čase skutečného zastavení vlaku u nástupištní koleje a končí okamžikem skutečného odjezdu vlaku.
- ${}^i T_{REL}$ – doba na uvolnění koleje u nástupiště tak, aby na tuto kolej mohl bez nutnosti čekání na uvolnění vlakové cesty přijet další vlak – tedy doba uvolnění vlakové cesty.



Obrázek 1: Složky celkového času obsazení nástupištní koleje

Dobu technologického obsazení koleje u nástupiště lze tedy vyjádřit vztahem:

$${}^i T_{OP} = {}^i T_{EXP} + {}^i T_T(s^{lr}, p) + {}^i T_{ST} + {}^i T_{REL}$$

¹ Pro lepší pochopení složitých značek: čas t pro návěstidlo s (anglicky signal) a vlak r_i , h označuje vjezdové návěstidlo (home signal), lr poslední cestové návěstidlo (last on route signal). V další části textu budeme vždy používat pojem poslední návěstidlo před nástupištěm, přičemž pod tímto pojmem si lze představit buď vjezdové návěstidlo nebo poslední cestové návěstidlo v závislosti na konfiguraci uvažované železniční stanice.

3 Případy časových kolizí v obsazení nástupištní koleje

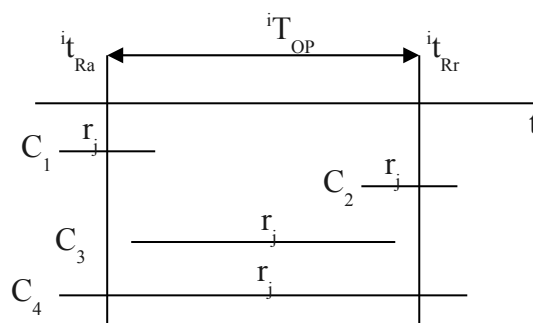
Při pokračování v analýze konfliktní doby obsazení nástupištní koleje dvěma vlaky, zpožděným vlakem r_i a vlakem r_j , který danou kolej obsazuje v danou dobu pravidelně, můžeme v zásadě identifikovat čtyři případy kolizí v obsazení koleje mezi nimi (viz obr. 2):

C_1 : V okamžiku vzniku požadavku na obsazení koleje vlakem r_i (t_{Ra}^1) je požadovaná kolej obsazená vlakem r_j , ale při výhledu na celou požadovanou dobu obsazení vlakem r_i (t_{OP}) dojde k uvolnění koleje.

C_2 : V okamžiku vzniku požadavku na obsazení koleje vlakem r_i je požadovaná kolej volná, ale do okamžiku uvolnění koleje vlakem r_i je naplánované obsazení koleje vlakem r_j , které skončí až po předpokládaném konci doby t_{OP} .

C_3 : V okamžiku vzniku požadavku na obsazení koleje vlakem r_i je požadovaná kolej volná, ale do okamžiku uvolnění koleje vlakem r_i (t_{Rr}^2) je naplánované obsazení koleje jiným vlakem r_j , který do doby uvolnění koleje vlakem r_i stihne ještě tuto kolej uvolnit.

C_4 : V době vzniku požadavku na obsazení koleje vlakem r_i je požadovaná kolej obsazená a do doby uvolnění koleje vlakem r_i nedojde k její uvolnění.



Obrázek 2: Případy časových kolizí v obsazení nástupištní koleje

4 Návrh řešení kolize.

Algoritmus modelující rozhodování výpravčího při přidělování koleje příjezdějícímu zpožděnému vlaku postupuje v řešení následujícím způsobem.

Nejdřív se snaží přidělit kolej, která je určená „Plánem obsazení kolejí“. Pokud je kolej určená touto pomůckou po celou dobu t_{OP} volná, přidělíme příjezdějícímu vlaku tuto kolej a algoritmus končí.

Jestliže ale původně určená kolej není volná po celou požadovanou dobu, je nutné posoudit i možnost výběru náhradní koleje. Při výběru koleje (původně určené anebo náhradní) postupuje algoritmus podle kritérií uvedených v další části textu.

5 Kritéria pro zařazení nástupištní koleje do výběrové množiny a hodnocení výběru

Do výběrové množiny nástupištních kolejí je možné zahrnout pouze koleje, které splňují bezpodmínečně tato kritéria:

¹ t_{Ra} – okamžik t reálného (R – od anglického real) přidělení (a – assignment) koleje pro vlak r_i

² t_{Rr} – okamžik reálného uvolnění (r – release) koleje vlakem r_i

- délka nástupištní hrany – příjezdějícímu vlaku musí být přiřazena kolej s dostatečně dlouhou nástupištní hranou
- průjezdnost koleje – příjezdějícímu vlaku musí být přidělena nástupištní kolej umožňující odjezd na požadovanou výstupní traťovou kolej

Po výběru kolejí do výběrové množiny ohodnotíme možný výběr každé koleje jako řešení situace pokutovou funkcí, tzn. že hodnotíme negativní vliv výběru z několika hledisek. Celková pokutová účelová funkce má potom tvar:

$$P = \sum_{x \in \{A..C\}} P_x,$$

kde A až C označují zvolená kritéria pro hodnocení (ne)vhodnosti koleje k výběru.

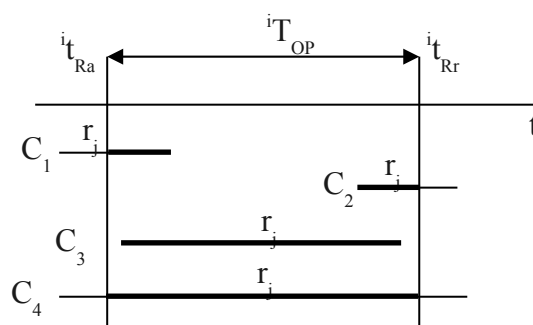
Dále následuje bližší popis každého kritéria, přičemž u všech existuje více možností zapsání kritériální funkce.

A) Konfliktní doba obsazení koleje (průnik ${}^i T_{OP}$ a ${}^j T_{OP}$)

Konfliktní doba je průnikem mezi dobou obsazení příjezdějícím zpožděným vlakem ${}^i T_{OP}$ a dobou obsazení konfliktním vlakem ${}^j T_{OP}$. V tomhle kritériu jde o obsazení uvažované koleje oběma konfliktními vlaky. Konkrétně:

t_{IPs} – začátek intervalu doby průniku na nástupištní koleji

t_{IPe} – konec intervalu doby průniku na nástupištní koleji



Obrázek 3: Případy časových kolizí v obsazení nástupištní koleje se zvýrazněnou dobou průniku na nástupištní koleji tučnou barvou (doba mezi momenty t_{IPs} a t_{IPe}).

Při zapsání kritéria přichází v úvahu více možností, např.:

1. lineární součin doby průniku a váhy kategorie vlaku w_A : $P_A = (t_{IPe} - t_{IPs}) \cdot w_A$
2. exponenciální součin doby průniku a váhy kategorie vlaku w_A : $P_A = w_A \cdot e^{(t_{IPe} - t_{IPs})}$

Uvedená váha w_A závisí od ohodnocení kategorií posuzovaných vlaků, protože kategorizace vlaků má na ohodnocení pochopitelně významný vliv.

B) Konfliktní doba obsazení zhlaví

Jedná se o konflikt při obsazení zhlaví při vjezdu zpožděného vlaku k nástupištní koleji. Modelování je obdobné jako v bodu A). Spravidla je tato doba kratší než konfliktní doba obsazení koleje.

Taktéž připadá v úvahu zavést do tohoto kritéria zohlednění kategorie vlaků. Opět je možné použít lineární nebo exponenciální součin doby průniku na zhlaví a kategorie vlaků:

$$P_B = (t_{ICe} - t_{ICs}) \cdot w_B$$

anebo

$$P_B = w_B \cdot e^{(t_{ICe} - t_{ICs})},$$

kde proměnné obdobně odpovídají začátku a konci intervalu a váze w_B .

C) Přestupní doba mezi zpožděným vlakem a přípojnými vlaky

V tomto kritériu jde o vyhodnocení rozdílů mezi časem skutečného příjezdu zpožděného vlaku r_i (t_{Rp}) a časy plánovaných odjezdů všech přípojných vlaků r_j (t_{Pd}).

$$1. P_C = \sum_{\forall r_j \in E(r_i)} -Y \cdot T_{Ckl} \cdot w_C,$$

kde $Y = \min \{t_{Pd} - t_{Rp}; 0\}$, čili platí, že čím je více času mezi příjezdem vlaku r_i a odjezdem vlaku r_j , tím je to lepší, a tedy z celkové pokuty ubude. Jestli je okamžik zastavení vlaku r_i až po plánovaném odjezdu vlaku r_j ($t_{Pd} - t_{Rp} < 0$), pak se vezme 0, protože, plánovaný odjezd r_j se posune na potřebný pozdější moment. T_{Ckl} je doba potřebná na přestup mezi kolejemi k a l .

$$2. P_C = \sum_{\forall r_j \in E(r_i)} -Y \cdot w_C,$$

kde $Y = \min \{t_{Pd} - t_{Rp} - T_{Ckl}; 0\}$

Pro některé přípoje je přestupní doba důležitější než pro jiné, například když přestupuje hodně lidí anebo z jiného důvodu se jedná o důležitý přípoj. Pak možno váhy w_C dále specifikovat podle důležitosti pro některé kombinace vlaků: zpožděného r_i a jeho přípoje r_j .

Pro uvedené vztahy získáme všechny hodnoty pro časové okamžiky, doby trvání a kategorie vlaků z popisu situace. Váhy w_i jsou na počátku modelování neznámé a jejich hodnoty je třeba určit.

Uvedená kritéria považujeme za základní pro hodnocení výběru nástupištních kolejí pro zpožděný vlak. Nabízejí se i další kritéria, jako např. nedodržení plánu obsazení kolejí, zpoždění dalších vlaků, časová náročnost příjezdu k nástupišti. Jejich použití je možno zvážit při další specifikaci modelu.

6 Závěr

V příspěvku jsme se pokusili naznačit formalizaci problému přidělení koleje zpožděnému vlaku. Při použití uvedených kritérií a jejich vztahů se pak problém přesnosti modelování rozhodnutí změnil na určení hodnot vah w_i . Čím víc kritérií se v rozhodování zahrne, tím víc neznámých vah třeba určit a tím víc rozměrů má prostor možných váhových hodnot. V naznačeném modelu jsou uvedené jenom tři neznámé hodnoty (w_i , $i = A, B, C$). Jestli

zohledníme kategorie vlaků v kritériích A a B a důležitost některých dvojic přípojů v kritériu C, počet neznámých vah poroste.

Problematika formalizace problému přidělení náhradní nástupištní koleje není ukončena. Jde spíš o první nástin, který může vést k další diskuzi o problému a špecifikování přesnějšiho modelu.

V další fázi řešení bude zajímavé se zaměřit na jednotlivá kritéria hodnocení výběru a jejich vyčíslení pro různé železniční stanice. Patrně bude jejich určení nutno provést experimentálně.

Použité zdroje

1. BAŽANT, M., ŽARNAY, M. Simulation model of train connections for delayed trains in passenger stations. In *International Symposium ŽEL 2005. Sborník příspěvků konference*. Žilinská univerzita. Žilina: Žilinská univerzita, 2005. s. 142-147. ISBN 80-8070-400-7