



ROZŠÍŘENÍ PRAVDĚPODOBNOSTNÍHO MODELU PRO PREDIKCI RIZIKA POŽÁRU V SILNIČNÍCH TUNELECH

Zpracovali: Ing. Eva Novotná, Ph.D., prof. Ing. Jiří Šejnoha, DrSc. (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

Souhrn

V tomto technickém listu je pravděpodobnostní model vzniku požáru, popsán již dříve v publikacích [1] a [2], rozšířen o vystižení možnosti náhodného přejezdu vozidel z jednoho pruhu do druhého. Řešení pracuje s Markovovými řetězci a jeho výsledkem je vývoj pravděpodobnosti, se kterou se určitá konfigurace vozidel (např. dva nákladní vozy za sebou nebo vedle sebe) vyskytne v místě požáru. Model je obecně nestacionární, závislý na výchozí sestavě vozidel před semaforem, ale po krátké vzdálenosti 300 – 400 metrů se stává stacionárním. Toto řešení prohlubuje existující pravděpodobnostní model.

Oblast použití

Výsledky řešení přináší realističtější pohled na dopravní proud a tím i zpřesnění analýzy rizika požáru v silničním tunelu. Jsou použitelné jak při návrhu nových tunelových staveb, tak při hodnocení důsledků požáru a návrhu sanačních prací k odstranění vzniklé škody. Metodika může být rozšířena i do jiných oblastí infrastrukturních staveb.

Metodika a postup řešení

V Obr. 1 je znázorněna možná konfigurace vozidel potenciálně zapojených do požáru v dopravním proudu se dvěma pruhy, kde V znamená prázdný prostor mezi vozidly (Void), PC – osobní vůz a TB – nákladní vůz, popř. autobus.

Predikce pravděpodobnosti výskytu kterékoliv z možných sestav (např. TB/TB nebo TB/PC) v sousedních pruzích v místě požáru vychází z modelu Markovova řetězce.

Tento model popisuje vývoj pravděpodobnosti sestav v pozici x_0 (v místě předpokládaného požáru) a v diskretních časech. Připomeňme, že náhodné pokračování $\{X_n: n = 0, 1, 2, \dots\}$ je Markovův řetězec, pokud

$$P(X_{n+j} = j | X_n = i, X_{n-1} = i_{n-1}, \dots, X_0 = i_0) = P(X_{n+j} = j | X_n = i). \quad (1)$$

Pokud přechodové pravděpodobnosti (1) nezávisí na n , Markovův řetězec je homogenní.

Pravděpodobnosti popisující rozdělení Markovova řetězce v časovém kroku n jsou

$$p_i(n) = P(X_n = i); \quad i = 0, 1, 2, \dots; \quad n = 0, 1, \dots \quad (2)$$

V případě nehomogenního stavu pak

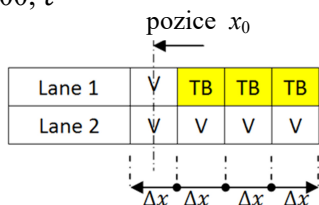
$$p_i(n+1) = \sum_{(j)} p_j(n) p_{ji}(n), \quad i, j = 0, 1, 2, \dots, n = 0, 1, \dots \quad (3)$$

Jednotlivé kombinace volných mezer, osobních aut a nákladních vozidel ($0 \equiv V$, $1 \equiv PC$, $2 \equiv TB$) dávají $3^2 = 9$ počátečních sestav. Pokud připustíme přejíždění mezi jednotlivými jízdními pruhy, zvýší se počet kombinací na 15. Tři z dodatečných stavů, které popisují přejezd nákladního vozu z jízdního pruhu 1 do pruhu 2, jsou zobrazeny v Obr. 2.

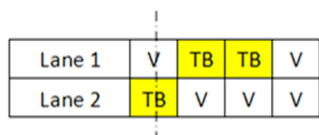
Lane 1	V	PC	V	PC	V	PC	V	PC	V	PC	V	...				TB	V
Lane 2			TB		PC	V	PC	V	PC	V		...	V	PC	V	PC	V

Obr. 1. Dopravní proud se dvěma jízdními pruhy

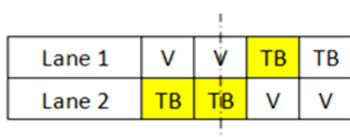
sestava 00; t



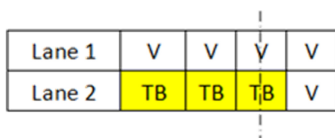
sestava 02¹; $t + \Delta t$



sestava 02²; $t + 2\Delta t$



sestava 02³; $t + 3\Delta t$



Obr. 2. Znárodnění postupného přejezdu nákladního vozu z pruhu 1 do pruhu 2 v čase $t = x/c$; c je rychlost dopravního proudu

V následujících případech budou jednotlivé sestavy n určeny v čase t a rovnice (3) bude přepsána do maticové formy:

$$p(t + \Delta t) = P^T(t) \cdot p(t). \quad (4)$$

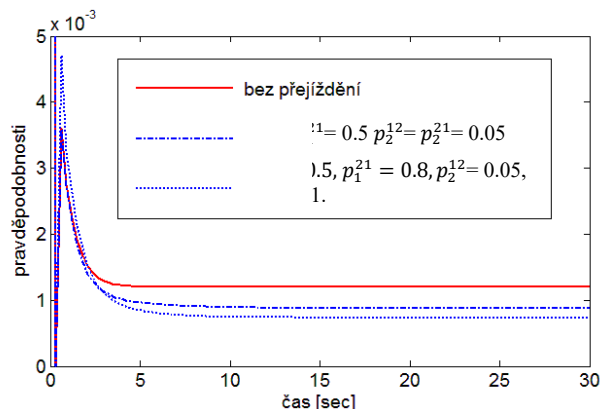
V případě nestacionárního proudu je třeba aktualizovat hodnoty matice pravděpodobnosti přechodů $P(t) = [p_{ij}(t)]$ na konci předchozího kroku.

Výsledky řešení

Jako ilustrativní příklad uvažujme dopravní proud ve dvou jízdních pružích s konfigurací znázorněnou na Obr. 1. Abychom byli konkrétní, budeme uvažovat v počátečním stavu 1 TB a 8 PC detekovaných v pruhu 1, respektive 2 TB a 8 PC v pruhu 2. K získání přechodových pravděpodobností lze nyní využít nejvěrohodnější odhady pravděpodobností. Celou přechodovou pravděpodobnostní matici zde

nelze představit kvůli omezenému rozsahu technického listu.

Pravděpodobnost sestav v počáteční fázi silně závisí na počátečních podmínkách a může se rychle měnit a vzájemně lišit. Vývoj pravděpodobností výskytu sestavy 1, 2 (tedy PC v prvním jízdním pruhu a TB ve druhém), je zobrazen na Obr. 3, a to s ohledem na odlišné přejezdové pravděpodobnosti, se kterými vozidla mění jízdní pruhy 1 a 2.



Obr. 3 Vývoj pravděpodobnosti výskytu sestavy 1, 2 (PC a TB) v místě požáru.

V obr. 3 plná čára znázorňuje stav bez možnosti přejíždění z pruhu do pruhu. Čerchovaná čára připouští stejnou pravděpodobnost přejezdů u téhož typu vozidla. Čárkovaně je znázorněn stav s různou pravděpodobností přejezdu z pruhu 1 do pruhu 2 a naopak.

Literatura

- [1] Sýkora, J., Jarušková, D., Šejnoha, J., Šejnoha, M. Fire risk analysis focused on damage of the tunnel lining, Fire Safety Journal, přijato, v tisku. 2017
- [2] Šejnoha, J., Sýkora, J., Jarušková, D., Novotná, E., Šejnoha, M. Analýza rizika požáru v silničních tunelech. BETON-technologie, konstrukce, sanace, 2015, no. 6, s. 68. – 72. ISSN 1213-3116
- [3] Šejnoha, J., Sýkora, J., Novotná, E., Šejnoha, M. Probabilistic Approach to Damage of Tunnel Lining Due to Fire. In *Building up Efficient and Sustainable Transport Infrastructure: BESTInfra2017*. 2017, ISSN 1757-899X.