

Simulácia evakuácie osôb pri požiari

Sebestyénová Jolana · Informačné technológie

12.12.2012



Dobre postavené budovy umožňujú voľný pohyb ľudí v normálnych podmienkach a v prípade nebezpečenstva ich rýchlu evakuáciu. Simulácia umožňuje zohľadňovať pri návrhu stavieb bezpečnostné riziká, napríklad riziká súvisiace so vznikom požiaru. Súčasné modely evakuácie poskytujú možnosť simulovať fyzikálne vlastnosti stavieb, dopravných prostriedkov, rozsah požiaru a pod. ako aj správanie sa ľudí. V tomto článku sa zaoberáme simuláciou evakuácie osôb pri požiari v tuneli použitím nástroja STEPS.

Úvod

Normatívy pre stavby nariaďujú, že v prípade nebezpečenstva musí byť každý, kto je prítomný, schopný dostatočne rýchlo opustiť rizikový priestor. Predpisujú napríklad minimálnu šírku a maximálnu dĺžku únikových ciest, chodieb a pod. Ak je v prípade požiaru alebo inej havarijnej udalosti niektorý východ neprístupný, môže pri iných východoch nastať zhustenie davu a ohrozenie životov unikajúcich osôb.

Modelovanie pohybu chodcov

Simulácia pohybu davu je v oblasti 3D zobrazovania v poslednom období často riešeným problémom. Niektorí riešitelia sa sústreďujú na generovanie prirodzeného pohybu chodcov [9], iné riešenia sú zamerané na tvorbu nástrojov podporujúcich rozhodovanie zodpovedných riadiacich pracovníkov a krízového manažmentu v havarijných situáciách. Štúdie, ktoré porovnávajú počítačové simulácie pohybu veľkého počtu chodcov s empiricky pozorovanou dynamikou davu vedú k hlbšiemu porozumeniu kolektívneho chovania vznikajúceho na základe vzájomného pôsobenia jednotlivcov.

Vzájomné ovplyvňovanie medzi chodcami vyvoláva vznik rôznych časovo-priestorových formácií, napríklad prúdy chodcov idúcich jedným smerom, pred prekážkami a zúženými miestami sa objavuje oscilácia prúdu chodcov (chvíľu sa pohybujú a chvíľu stoja), pri križovaní dvoch dráh vznikajú zhľuky. V extrémnych podmienkach zlyháva takáto prirodzene sa objavujúca koordinácia a vznikajú kritické javy. Ak sa v dave všetci príliš ponáhľajú, prejavia sa dôsledky nerešpektovania známych odporozorovaných pravidiel „ponáhľať sa treba pomaly“ (faster-is-slower, freezing-by-heating) čo môže viesť k turbulenciám v dynamike pohybu davu. Tieto pozorovania majú veľký význam pre optimalizáciu evakuácie.

Tragickým prejavom kolektívneho chovania je panický útek, ktorý neraz vedie k zraneniu alebo usmrteniu ľudí. Podobným javom je aj „stádovitosť“, kedy unikajúci dav napodobňuje chovanie ostatných a ignoruje ďalšie existujúce únikové cesty a pod. Modely dynamiky chodcov delíme do dvoch kategórií [1]: makroskopické a mikroskopické. Makroskopické prístupy využívajú rôzne analógie dynamiky tekutín a plynov na simuláciu tokov v doprave a pohybu chodcov (Evacnet [6]). Medzi mikroskopické modely patria modely silového chovania, celúlarne automaty (Exodus [3], Egress [2]), modely založené na pravidlách, agentové modely (Simulex [11], PedGo [8], Pathfinder [7]) a hybridné modely.

Prvé modely dynamiky chodcov neumožňovali spojenie simulácie požiaru s evakuáciou. Tieto modely sa v poslednom čase rozširujú a vznikajú nové modely, ktoré zohľadňujú aj zmenu pohybu jednotlivcov v dôsledku zníženej viditeľnosti a zhoršenej zdravotnej spôsobilosti unikajúcich osôb po vdýchnutí škodlivín a pod. Nástroj FDS+Evac [5] je spojenie simulátora požiarov FDS (Fire Dynamics Simulator [4]) so simuláciou evakuácie. Simulátor FDS je CFD (Computational Fluid Dynamics) model prúdov dymu a rôznych škodlivín v požiari. Softvérový balík FDS obsahuje aj program Smokeview na vizualizáciu výsledkov simulácie požiarov.

Koncentrácia dymu a plynov, ktorá je výstupom zo simulácie požiaru, ovplyvňuje pohyb a rozhodovanie unikajúcich osôb. Nástroj FDS+Evac možno použiť aj na simuláciu požiarneho cvičenia, t.j. bez účinkov požiaru. Každý unikajúci je reprezentovaný jednotlivým agentom, ktorý má svoje osobné vlastnosti a svoju únikovú stratégiu. Všetky parametre, ktoré popisujú požiar a únikový scenár, sú v jedinom vstupnom textovom súbore. V súčasnej verzii tohto nástroja je simulácia evakuácie veľmi obmedzená, publikovaná je príprava mnohých zlepšení.

Iný prístup predstavuje nástroj [13] na podporu rozhodovania krízového štábu na základe aktuálnych dát zo senzorov a kamier. Tento nástroj umožňuje simuláciu s využitím paralelného počítania, rýchlejšiu než v reálnom čase. Výstupom sú počty ľudí v ohrozených priestoroch a informácie o voľných resp. neprístupných východoch.

Simulátor STEPS

Simulačný nástroj STEPS bol vyvinutý firmou Mott MacDonald [12] a je to jeden z najviac používaných nástrojov vo svete na modelovanie pohybu chodcov. Umožňuje predpovedať pohyb chodcov v normálnych podmienkach aj v nebezpečenstve. Výstupom je 3D simulácia v reálnom čase, ktorá je zrozumiteľná aj pre laikov a expertom uľahčuje identifikovať úzke miesta, preferované východy a únikové cesty pre rôzne scenáre. Základné charakteristiky softvéru STEPS sú:

- mikrosimulácia použitím agentov
- priamy import 2D a 3D CAD modelov
- grafické interaktívne používateľské rozhranie (virtuálna realita)
- systém únikových ciest (ako alternatíva k ťažkopádnej matici počiatkov a cieľov)
- pohyblivé dopravné prostriedky (vlak, výťah, ...)
- rôzne typy pohybu chodcov (dospelý, dieťa, muž, žena, pokojný, nervózny, hendikepovaný – vozíčkar nemôže unikať po schodoch, skupinky rodinných príslušníkov – čakajú sa navzájom a unikajú spoločne, ...)

- import dát reprezentujúcich dym

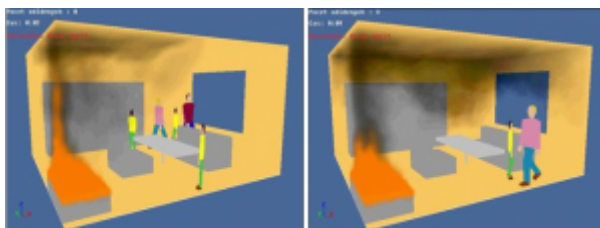
Geometrické vstupné dáta môžu byť pripravené v nasledovných formátoch:

- Súbory DMP/DMP4 sú produkované systémom ANSYS CFX4 ako výstup pri výpočtoch CFD. Pri importovaní takéhoto súboru STEPS získa všetky dostupné geometrické dáta.
- Systémy AutoCAD používajú súbory DXF. Tento formát je preferovaný na import 2D CAD dát do STEPS-u.
- Súbory VRML alebo WRL (Virtual Reality Modelling Language) sú používané v mnohých 3D aplikáciách.

Dáta, ktoré sa týkajú koncentrácie dymu a viditeľnosti možno do STEPS-u importovať z CFD simulácií v dvoch formátoch:

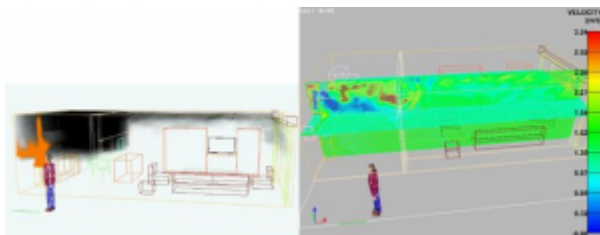
- Isopovrchy koncentrácie dymu (smoke isosurfaces), prípadne ľubovoľnej inej premennej, vo formáte VRML, ktorý je čisto vizuálny a neovplyvňuje pohyb. Tento formát je používaný aj na importovanie geometrických dát z CFD modelov.
- Stav a priebeh ľubovoľnej CFD premennej na jednotnej kartézskej mriežke (Sample planes on a uniform Cartesian mesh). Údaje o viditeľnosti importované takýmto spôsobom možno použiť na modifikáciu rýchlosti pohybu na základe experimentálnych dát. Importované môžu byť údaje o priebehu ľubovoľnej premennej, ale v súčasnej verzii STEPS-u je pohyb ovplyvnený iba viditeľnosťou.

Na ilustráciu práce s nástrojom STEPS je na obr. 1 jednoduchá ukážka súčasnej vizualizácie simulácie požiaru v izbe so šíriacim sa dymom a evakuácie, resp. odchodu 5 osôb (2 dospelí a 3 deti) z ohrozeného priestoru. Na obrázku vľavo je prítomných 5 osôb, vpravo už 3 osoby opustili izbu.



Obr. 1 Vizualizácia súčasnej simulácie požiaru v izbe a odchodu 5 osôb

Na obr. 2 vľavo je simulácia požiaru v kuchyni (ukážka tzv. drôtového modelu), kde sa dym už cez dvere šíri do izby. Na obrázku vpravo je tá istá situácia s vizualizáciou vektorového znázornenia rýchlosti zvyšovania teploty v priestore. Väčšina osôb okrem poslednej už priestor opustila.



Obr. 2 Simulácia požiaru v kuchyni s vizualizáciou vektorového znázornenia zvolenej premennej v priestore

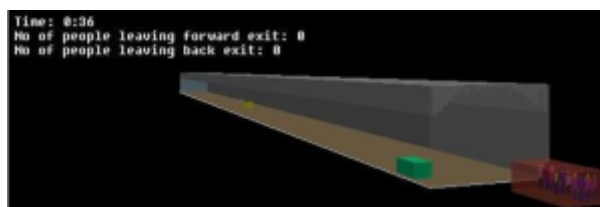
Simulácia požiaru v tuneli spojená s evakuáciou ľudí

Modely evakuácie v súčasnosti umožňujú simulovať faktory dvoch kategórií: fyzikálne vlastnosti (geometria tunela, prekážky, ľudia a dopravné prostriedky na mieste a v okolí nehody, rozsah požiaru, ...) a chovanie sa ľudí (čas potrebný na rozhodnutie opustiť priestor, voľba únikovej dráhy, stádovitosť, ...). V súčasnosti nie je publikovaných mnoho štúdií chovania sa ľudí pri požiari v tuneli [10]. Parametre chovania sa ľudí významne ovplyvňujú čas evakuácie:

- Voľba východu a únikovej dráhy: agenti sa v simuláciách rozhodujú na základe vlastností prostredia, teda vzdialenosti k východu, viditeľnosti a pod. Ľudia si pri požiari zvyčajne volia najbližší východ, ale niekedy sa radšej rozhodnú pre únikovú cestu, ktorú poznajú, pretože únikové východy z tunela sú pre nich rovnako odstrašujúce a neznáme.
- Stádovitosť: Interakcia medzi ľuďmi je kľúčovým faktorom modelovania evakuácie. Ľudia sú silne ovplyvnení chovaním ostatných, platí to pri rozhodnutí opustiť auto aj pri voľbe únikovej dráhy.
- Pohyb proti prevládajúcemu prúdu pohybu: Simulácia evakuácie pri požiari v tuneli nepotrebuje zohľadňovať takéto chovanie, pretože osoby nachádzajúce sa v rovnakej časti tunela budú mať tendenciu unikať rovnakým smerom.
- Účinky požiaru na chovanie sa ľudí: Dym ovplyvňuje rýchlosť pohybu osôb (štúdie rozloženia rýchlosti pod vplyvom dymu), voľbu východu, zhoršuje zdravotnú spôsobilosť unikajúcich a pod.

Na vizualizáciu simulácie požiaru v tuneli spojenú so simuláciou evakuácie osôb použijeme simulátor evakuácie STEPS. Na obr. 3 sú tri ilustračné snímky zo simulácie.

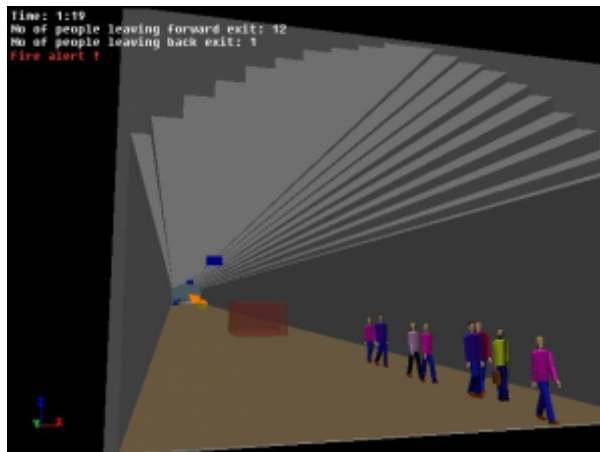
Scenár simulácie: V cestnom tuneli dlhom 180 m (šírka 10 m, výška 7 m) s dvoma stropnými ventilátormi, ktoré sú na snímke C znázornené ako modré obdĺžniky pod stropom tunela, vznikol požiar 92 metrov od ľavého vchodu do tunela [14]. Pred vznikom požiaru sú v tuneli 4 vozidlá. V jednom smere jazdy ide zelené auto (na snímku A), ktoré ešte pred vzbĺknutím požiaru tunel opustí a modré auto so 4 cestujúcimi (na snímkach B a C vľavo od požiaru). V opačnom smere (na snímkach z pravej strany) prichádza žlté auto s 1 osobou. Auto začne horieť, vodič opustí auto a odíde smerom k ľavému východu. Za žltým autom vchádza do tunela červený autobus s 20 cestujúcimi. Po vzniku požiaru a vyhlásení poplachu cestujúci z modrého auta aj z autobusu vystúpia a odchádzajú k ľavému, resp. pravému východu z tunela.



A) pred požiarom



B) po vyhlásení poplachu



C) väčšina osôb už opustila nebezpečný priestor

Obr. 3 Vizualizácia simulácie požiaru v tuneli spojená so simuláciou evakuácie osôb

Simulátor vypisuje informácie o počte osôb, ktoré tunel opustili jedným alebo druhým východom. Na tvorbu charakterov osôb boli použité prostriedky, poskytované simulátorom STEPS (dospelí, deti, nervózne a ponáhľajúce sa osoby a pod.). Ako posledný opustí tunel potácajúci sa vodič horiaceho auta. Video vytvorené zo simulácie, z ktorej pochádzajú tri uvedené snímky, je sprístupnené na webovej adrese: www.ui.sav.sk/vp/Evacuation_Tunnel_fire.avi

Záver

V rámci projektu „Výskum a vývoj nových informačných technológií na predvídanie a riešenie krízových situácií a bezpečnosť obyvateľstva“ riešime okrem iných aktivít aj návrh nástrojov a scenáre použitia existujúcich nástrojov, ktoré skvalitnia a uľahčia prácu krízového manažmentu včasným predvídaním vzniku a rozsahu krízových situácií, napríklad požiarov a ich šírenia ako aj nástrojov na plánovanie bezpečnej evakuácie osôb z ohrozeného prostredia. Jedným zo scenárov je evakuácia pri požiari v tuneli. Ako jeden zo vstupov do simulácie evakuácie boli použité dáta vygenerované z FDS simulácie požiarov, vytvorené kolektívom pracovníkov z oddelenia numerických metód a algoritmov Ústavu informatiky Slovenskej akadémie vied.

Podakovanie



Táto práca vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Výskum a vývoj nových informačných technológií na predvídanie a riešenie krízových situácií a bezpečnosť obyvateľstva, kód ITMS: 26240220060, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

1. Crowd Models Pedestrian and Evacuation Dynamics
http://ped.wikia.com/wiki/Crowd_Models
2. Egress
<http://www.esrtechnology.com/products/safetymanagement/Pages/EGRESS.aspx>
3. Exodus

- <http://fseg.gre.ac.uk/index.html>
4. Fire Dynamics Simulator FDS
<http://code.google.com/p/fds-smv/>
 5. Korhonen T., Hostikka S.: Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac, Technical Reference and User's Guide, 2009,
<http://www.vtt.fi/fdsevac>
 6. Kuligowski E. D., Peacock R. D.: A Review of Building Evacuation Models, Gaithersburg, 2005
 7. Pathfinder
<http://www.thunderheadeng.com/pathfinder>
 8. PedGo
<http://traffgo-ht.com/en/pedestrians/products/pedgo>
 9. Quinn M. J., Metoyer R. A., Hunter-Zaworski K.: Parallel Implementation of the Social Forces Model, In Proc. of the Second Int. Conf. in Pedestrian and Evacuation Dynamics, 2003, doi=10.1.1.89.2152
 10. Ronchi E., Colona P., Berloco N.: Human Behaviour in road tunnel safety design: evacuation modelling vs Italian risk analysis method, PIARC World Road Congress, Mexico City, 2011
<http://www.linkedin.com/pub/enrico-ronchi/12/55a/748>
 11. Simulex
<http://www.iesve.com/software/ve-pro/analysis-tools/egress/simulex>
 12. STEPS
<http://www.steps.mottmac.com/>
 13. Wagoum A. U. K., Chraibi M., Mehlich J., Seyfried A., A. Schadschneider: Efficient and validated simulation of crowds for an evacuation assistant, In Computer Animation and Virtual Worlds 2012, Wiley Online Library DOI: 10.1002/cav.1420
 14. Weisenpacher P., Halada L., Glasa J.: Computer fire simulation by FDS and the influence of a domain decomposition strategy to simulation outcome. In 7th Int. Workshop on Grid Computing for Complex Problems GCCP 2011, Bratislava, 233-240
<http://conference.ui.sav.sk/gccp2011>

Spoluautorom článku je Peter Kurdel, Ústav informatiky Slovenskej akadémie vied, Bratislava
