

Projekt do předmětu IMS

T8: CA v dopravě

Vhodnost využití přednosti zprava na parkovišti u Globusu

Jan Kuča xkucaj01
Martin Otradovec xotrad00

Obsah

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | Úvod | 2 |
| 1.1 | Autoři | 2 |
| 1.2 | Validace modelu | 2 |
| 2 | Rozbor tématu a použitých metod/technologií | 2 |
| 2.1 | Použité postupy | 2 |
| 2.2 | Původ metod/technologií | 2 |
| 3 | Koncepce | 3 |
| 3.1 | Způsob a vyjádření modelu | 3 |
| 3.2 | Popis konceptuálního modelu | 3 |
| 3.3 | Implementace konceptuálního modelu | 3 |
| 4 | Architektura simulačního modelu/simulátoru | 3 |
| 4.1 | Mapování konceptuálního modelu | 3 |
| 4.2 | Sestavení a spuštění programu | 4 |
| 5 | Podstata simulačních experimentů a jejich průběh | 4 |
| 5.1 | Postup experimentování | 5 |
| 5.2 | Dokumentace experimentů | 5 |
| 5.3 | Závěry experimentů | 5 |
| 6 | Shrnutí simulačních experimentů a závěr | 6 |
| 7 | Přílohy | 6 |
| 7.1 | Grafické zobrazení aplikace | 6 |

1 Úvod

Tato studie se zaměřuje na zkoumání vhodnosti použití pravidla přednosti zprava na parkovišti obchodního domu Globus v Ivanovicích a také v dalších obchodech. Přednost zprava je běžně uplatňována z několika důvodů, avšak dosavadní výzkumy se zpravidla nevěnují samotné plynulosti dopravy. Hlavním cílem této práce je srovnat efektivitu pravidla přednosti zprava s upravenou variantou pomocí dopravních značek. Na základě modelu a simulačních experimentů budou analyzována chování parkoviště za různých podmínek. Cílem experimentů je zjistit a ilustrovat, zda by případná úprava přednosti pomocí dopravních značek vedla k zlepšení efektivity parkování.

1.1 Autoři

Autoři této práce jsou Martin Otradovec a Jan Kuča, studenti třetího ročníku Fakulty informačních technologií v Brně. Dodavatelem informací pro simulaci bylo Statutární město Brno, přesněji jejich statistické oddělení Brno v číslech.

1.2 Validace modelu

Validita modelu [IMS, slajd 37] byla ověřena prostřednictvím souboru experimentů provedených v simulátoru parkoviště, který byl naimplementován použitím celulárního automatu [IMS, slajd 212], dále jen CA. Tyto experimenty byly realizovány za rozmanitých podmínek, zahrnující různé časy v průběhu dne a různé hustoty provozu vozidel. Výsledky byly porovnávány se skutečným systémem [IMS, 7]. Validita modelu může obsahovat drobné odchylky způsobené řídicími schopnostmi účastníků, velikosti automobilů a povětrnostními podmínkami.

2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Práce se zabývá modelováním a simulací parkoviště pomocí CA. V našem případě jsme jej použili k modelování chování vozidel na parkovišti. Jde o místo, kde mohou řidiči zanechat své vozidlo. Účastníci jsou většinou zákazníci obchodu. Obchod bývá ve většině případů otevřen od 7 do 21 hodin. Na parkoviště vedou dva vjezdy a z něj vedou dva výjezdy. Uvnitř je několik dlouhých ulic, podél kterých jsou uložena parkovací místa. Výjezd z těchto ulic na hlavní ulici je upřednostněn pomocí přednosti zprava, což zpomaluje průjezd hlavní ulicí a způsobuje kolony.

2.1 Použité postupy

Model parkoviště byl vytvořen v programovacím jazyce C z důvodu jednoduchosti a rychlosti. Pro grafické zobrazení je použita knihovna SDL. Celulární automat byl zvolen, protože umožňuje modelovat komplexní chování systému na základě jednoduchých pravidel. Alternativní přístup by mohl zahrnovat použití agentů, ale pro naše účely se CA ukázal jako vhodnější.

2.2 Původ metod/technologií

Zvolili jsme vlastní implementaci CA z důvodu přesné definice jeho chování. Implementace je založena na pravidlech definovaných v učebních materiálech a literatuře. Pro naše účely jsme vytvořili vlastní pravidla pro modelování chování vozidel na parkovišti. Vycházeli jsme primárně z knih Random processes and transformations [1] a z opory IMS [2].

3 Koncepce

Tato kapitola se zabývá především způsobem vytvoření konceptuálního modelu [IMS, 48] a jeho popisu.

3.1 Způsob a vyjádření modelu

Jednotlivé buňky tvoří parkoviště, po kterém se pohybují vozidla. Ta se generují na příjezdových cestách v náhodných intervalech při určitém počtu. Důležitá data pro studii jsou počet vozidel, velikost parkoviště, počet a druh křižovatek, vzdálenost mezi nimi a také rozestavění celého parkoviště.

Pro naše účely jsou mezi parkovacími místy použity pouze jednosměrné ulice, protože vzhledem k rozměrům vozidel jsou i u obchodního domu Globus dvoupruhové ulice využívány jako jednopruhové. Taktéž je zanedbávána brzdná dráha vozidla, protože se po parkovišti vozidla pohybují v minimálních rychlostech.

3.2 Popis konceptuálního modelu

Pohyb vozidla je dán jeho stavem, rychlostí a umístěním. Vozidlo nejprve přijíždí po příjezdové cestě, následně hledá parkovací místo, zaparkuje, po určité době, dané dobou nákupu, z parkovacího místa odjíždí a poté hledá nejbližší možný výjezd z parkoviště. Doba, kterou vozidlu zabere celý tento proces, je dána aktuálním zaplněním parkovacích míst, umístěním parkovacího místa, které si vozidlo vybere, a aktuálním provozem na hlavních cestách.

3.3 Implementace konceptuálního modelu

Aplikace obsahuje jednoduché struktury, pomocí kterých se předávají data důležitá pro její běh. Složitější datové struktury, například pro ukládání většího množství dat, nejsou potřeba. Aplikace také umožňuje snadné vytvoření jakéhokoliv parkoviště či dopravního uzlu.

4 Architektura simulačního modelu/simulátoru

Aplikace je realizována v jazyce C. Dovoluje spuštění v grafickém módu s vykreslováním aktuálního stavu simulace, ale také bez grafického rozhraní pouze s výpisem výstupních statistik. Parametry simulace se dají nastavit pomocí přepínačů příkazové řádky. Aplikace podporuje možnost definovat více map, které jsou generované přímo v kódu, a pro spuštění zvolit jednu z nich. Další možností je také simulaci spustit vícekrát a provést aritmetický průměr nad výstupními statistikami.

Simulace je implementována pomocí hlavního cyklu, ve kterém se postupně vykonávají funkce obsahující logiku prvků simulace. Mezi ně patří generátory (struktura `generator_t`, funkce `run_generators`), které přidávají do mapy nová auta, křižovatky (struktura `inter_t`, funkce `run_inters`), které rozhodují o tom, které auto má přednost, a jednotlivá auta (`run_cars`). Chování aut je rozděleno na dvě části - rozhodnutí o směru jízdy (`run_car`) a posunutí na následující buňku podle zvoleného směru (`move_car`).

4.1 Mapování konceptuálního modelu

Mapa je reprezentována dvěma vrstvami buněk - cestami (struktura `entity_t`) a auty (`car_t`). Buňky jsou uloženy v simulačních datech (`simulation_data_t`) dvěma vyhledávacími tabulkami [IMS, 216] v podobě polí. K jednotlivým buňkám přistupujeme pomocí jejich souřadnic. Cesta i auto mohou zároveň obývat stejné souřadnice, tzn. auta se mohou pohybovat po cestách. Dvě auta nebo dvě cesty na stejných souřadnicích být nemohou. Auta se mohou pohybovat pouze v kolmých směrech a to do buněk s cestou. Cesty se dělí na dva typy: volná cesta (enum `entity_e`, hodnota `EMPTY_ROAD`, struktura `e_road_t`), parkovací místo (`entity_e`, hodnota `PARKING`) a výjezd z parkoviště (`MAP_EXIT`). V případě, že má volná cesta přiřazený směr jízdy (`e_road_t#direction != DIR_COUNT`), se jím auto řídí, pokud s cestou nesousedí parkovací místo, v takovém

případě auto prioritizuje přesun na parkoviště. Při vstupu auta na parkovací místo následně čeká po dobu reprezentující nakupování v obchodě. Po uplynutí této doby se přesouvá na jakoukoliv volnou cestu v okolí ve vzdálenosti 1. Při vstupu na místo odjezdu z parkoviště je auto odstraněno z aktivní simulace.

Dalšími prvky jsou silnice (struktura `road_t`) a křižovatky (struktura `inter_t`), které jsou tvořené spojením více buněk volných cest. V simulaci jsou využité k určení, zda cesta vede k výjezdu z mapy. Křižovatky slouží pro implementaci rozhodovací logiky aut v případě střetnutí více silnic. Na křižovatku smí vstoupit najednou pouze jedno auto. Každá křižovatka má definovaný výstupní směr (`inter_t#exit_dir`), který vede k nejbližšímu výjezdu z parkoviště. Pokud auto zaparkovalo, vyjelo a již opouští parkoviště, tento výjezd si vždy vybere, tímto simulujeme navigaci auta z parkoviště.

4.2 Sestavení a spuštění programu

Program je sestavitelný pomocí přiloženého `Makefile` příkazem `make`. Výsledkem je spustitelný soubor `path`. Pokud chcete zároveň se sestavením program i spustit, můžete tak učinit pomocí příkazu `make run`. V tom případě se dají přepínače programu nastavit pomocí proměnné `ARGS` (např. `ARGS="-m 3 -p -l -c 100" make run`).

Soubor se spouští pomocí příkazu `./path [možnosti]` s následujícími možnostmi:

- `-h` – vypíše nápovědu
- `-p` – spustí simulaci pozastavenou
- `-m MAP` – ID mapy pro použití v simulaci (enum `map_e`)
- `-s SPEED` – čas v ms mezi jednotlivými iteracemi
- `-c COUNT` – počet generovaných vozidel (v simulaci rozdělen mezi dostupné generátory)
- `-i INTERVAL` – střední hodnota exponenciálního rozložení intervalu mezi generováním vozidel
- `-l` – Spustí program s grafickým rozhraním
- `-v` – Vypsát statistiky ve formátu CSV
- `-r RUNS` – počet, kolikrát se má spustit simulace, statistiky jsou průměrovány
- `-t TIMEOUT` – časový limit v sekundách, po kterém se zastaví simulace (v grafickém módu není dostupné)

Pro sestavení programu s grafickým rozhraním je potřeba mít nainstalovanou knihovnu SDL2. V případě nastavení proměnné `GRAPH=1` při překladu bude knihovna vyžadována. Při základním příkazu `make` a `make run` nebude. Pokud ale poté budete chtít program spustit i s grafickým rozhraním, objeví se chybová hláška.

V případě, že chcete spustit hromadnou simulaci pro všechny počty vozidel a oba druhy parkoviště najednou, můžete tak učinit pomocí příkazu `make simulation`. Sestaví program, spustí jej nad předem definovanými daty a výsledky uloží do souborů `rightway.csv` a `no_rightway.csv`.

5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Cílem experimentů je získat odpověď na otázku, zda je na velkých parkovištích vhodné mezi jednotlivými ulicemi používat dopravní značky pro úpravu přednosti v jízdě, nebo je pro plynulost provozu lepší značky vynechat a nechat přednost v jízdě pouze na pravidlu přednosti zprava. Podle tohoto pravidla má na křižovatce to vozidlo, které přijíždí po pravé ruce jiného vozidla a samo nemá po pravé ruce další vozidlo.

5.1 Postup experimentování

Simulace byla postupně spouštěna pro oba dva druhy parkoviště nad různými daty reprezentujícími různé množství vozidel v různých částech dne. Veškeré výstupy experimentu se zaznamenávají jako statistická data a ukládají se do souboru. Sleduje se například čas od příjezdu k zaparkování, čas od vyparkování k odjezdu, celkový čas čekání na křižovatkách a další.

5.2 Dokumentace experimentů

Počet vozidel se pohybuje od 10 (v noci), přes 30, 50, 100, 200, 400, 600, 1000, 1500, až po 3000 vozidel ve špičce. Doba parkování se odvíjí od doby nákupu a je to průměrně 26 minut. Výstup každého experimentu se ukládá ve formě statistiky. Každý experiment byl opakován řádově stokrát a výsledky byly zprůměrovány a zpřesňovány.

5.3 Závěry experimentů

Bylo provedeno 30 experimentů pro každou situaci, tedy celkově 270 experimentů zároveň pro oba dva druhy parkoviště. V průběhu experimentování byla zjištěna chyba modelu projevující se ve vzácných případech přeplnění parkoviště. Jelikož výsledky s touto chybou nebyly validní, nebyly započítávány do statistiky.

| počet vozidel | doba parkování (min) | doba odjezdu (min) | doba čekání na křižovatkách (s) |
|---------------|----------------------|--------------------|---------------------------------|
| 10 | 2.92 | 2.734 | 2.04 |
| 30 | 3.40 | 2.792 | 4.02 |
| 50 | 4.13 | 2.859 | 4.92 |
| 100 | 4.55 | 2.906 | 13.92 |
| 200 | 6.07 | 3.064 | 37.8 |
| 400 | 6.69 | 3.318 | 46.98 |
| 600 | 6.72 | 3.540 | 47.28 |
| 1000 | 6.85 | 4.071 | 49.2 |
| 1500 | 6.86 | 4.695 | 49.38 |
| 3000 | 6.83 | 6.604 | 49.44 |

Tabulka 1: Přednost zprava

| počet vozidel | doba parkování (min) | doba odjezdu (min) | doba čekání na křižovatkách (s) |
|---------------|----------------------|--------------------|---------------------------------|
| 10 | 2.67 | 2.592 | 1.98 |
| 30 | 3.13 | 2.713 | 4.02 |
| 50 | 3.64 | 2.757 | 4.5 |
| 100 | 3.97 | 2.888 | 11.4 |
| 200 | 4.45 | 3.278 | 24.48 |
| 400 | 5.14 | 4.042 | 35.7 |
| 600 | 5.45 | 4.932 | 42.48 |
| 1000 | 6.12 | 6.036 | 44.28 |
| 1500 | 6.32 | 6.819 | 43.5 |
| 3000 | 6.57 | 8.962 | 44.16 |

Tabulka 2: Upravená přednost v jízdě

6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

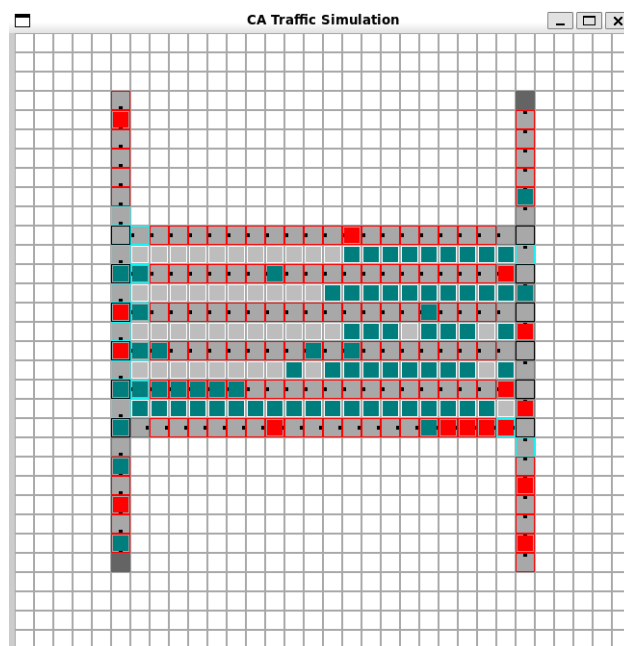
Z výsledku experimentů vyplývá pro nás celkem překvapující výsledek a to, že při velkém provozu je aktuální verze parkoviště s předností zprava pro plynulost provozu efektivnější. Je to primárně z důvodu snazšího uvolňování silnic vedoucích k parkovacím místům. V případě přednosti v jízdě určené dopravními značkami (tedy přednost má boční příjezdová silnice) dochází ke vzájemnému čekání řidičů z hlavní cesty, než se uvolní cesta vedlejší a zároveň čekání řidičů na vedlejší cestě, než budou moci vjet na hlavní silnici. Při nízké hustotě provozu je zase efektivnější verze s upracenou předností v jízdě. Jelikož ale problém řešíme hlavně z důvodu denních špiček, je pro nás rozhodující výsledek při vysoké hustotě provozu.

Literatura

- [1] S. ULAM. *Random Processes and Transformations*, pages 264–275. Proceedings of International Congress of Mathematicians, Cambridge, 1952.
- [2] Petr Peringer. Modelování a simulace: Ims studijní opora, 2021.

7 Přílohy

7.1 Grafické zobrazení aplikace



Obrázek 1: Grafické zobrazení simulace