

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta informačních technologií



**Modelování a simulace
2020/2021**

**Téma č. 9:
Diskrétní model z oblasti služeb a dopravy**

Obsah

1 Úvod	1
1.1. Autoři, zdroje	1
1.2. Ověření validity	1
2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií	1
2.1. Použité postupy	1
2.2. Popis původu použitých metod/technologií	2
3 Koncepce modelu	2
3.1. Popis konceptuálního modelu	2
3.2. Forma konceptuálního modelu	2
4 Architektura simulačního modelu	2
4.1. Spouštění simulačního modelu	3
5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh	3
5.1 Experiment 1.	3
5.2 Experiment 2.	4
5.3 Experiment 3.	5
6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr	7
Petriho síť	8

1 Úvod

V této práci je řešen projekt do předmětu Modelování a simulace. Naším tématem práce je diskretní model z oblasti služeb a dopravy. V práci je tak řešený proces sestavení modelu [1, strana 7] pro výrobu a rozvoz pizz po Olomouci firmou Cartel Pizza [2] a poté jeho simulaci [1, strana 33]. Za pomoci toho modelu a simulačních experimentů [1, strana 9] bude pozorovaná efektivita výroby a rozvozu pizz při současné situaci. Vzhledem k tomu, že se jedná o novou a první pobočku firmy v Olomouci bude pozorován také možný růst a navýšení kapacit pobočky.

1.1. Autoři, zdroje

Autory této práce jsou:

- Vojtěch Mimochodek (xmimoc01)
- Martin Berger (xberge04)

Zdrojem dat k naší práci byla zaměstnankyně firmy Cartel Pizza, paní Simona Zachová, za což jí patří velké díky.

1.2. Ověření validity

Ověření validity [1, strana 37] modelu proběhlo za pomoci získaných dat od firmy Cartel Pizza. Validitu jsme ověřili taky pomocí experimentů a porovnání získaných dat ze simulace s reálnými daty.

2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Data, která jsme od společnosti Cartel Pizza získali, jsme zprůměrovali k naší další potřebě.

Provozovna otvírá a zákazníci si tak mohou objednávat každý den od 10:00. Směna je dlouhá podle toho, jaký je den, proto je délka směny jeden ze vstupních parametrů. Pizzerie rozváží po Olomouci a okolí průměrně 3auty, jedno auto je schopno odvézt maximálně čtyři objednávky. Olomoucká pobočka má průměrně 100 objednávek denně. Pizzař jednu objednávku chystá průměrně 2 minuty a následně se pak pečou v peci 5 minut. Pizzař vždy čeká alespoň na 3 objednávky, pokud však nedorazí do 10 minut, jde dělat i méně pizz. Trasa na rozvoz jedné objednávky je v průměru 1 až 10 km, při průměrné rychlosti po městě, která činí 35 km/h, trvá zhruba od 2 do 15 minut. Kurýři využívají firemních aut Škoda Citigo G-Tec 1,0 MPI, které má průměrnou spotřebu 4,6 m³/100km.

2.1. Použité postupy

K vytvoření modelu posloužil jazyk C++ doplněn o simulační knihovnu SIMLIB [3]. Jsou to technologie, které jsou ideální pro řešení daného tématu, poskytují totiž vše potřebné pro tvorbu modelu. Jedná se o volně dostupné a multiplatformní prostředky, tudíž se poměrně jednoduše používají a je zajištěna kompatibilita s většinou strojů. Dále byly využity nabyté vědomosti z kursu Modelování a simulace a také textů k němu dostupných [1].

2.2. Popis původu použitých metod/technologií

Byly použity standardní třídy a funkce jazyka C++. Bylo využito také tříd a funkcí ze simulační knihovny SIMLIB. Překlad zdrojových souborů probíhá za pomoci nástroje G++. Knihovna SIMLIB byla stáhnuta z oficiálních stránek nástroje. Použita byla nejaktuálnější verze ke dni 7. prosince 2020, tedy 3.07. Tímto patří díky jeho autorům Petrovi Peringerovi, Davidovi Leskovi a Davidovi Martínkovi za vytvoření tohoto šikovného nástroje.

3 Koncepce modelu

Tato část je zaměřena na návrh konceptuálního modelu [1, strana 48] nad systémem hromadné obsluhy (SHO) [1, strana 136]. K vytvoření modelu je potřeba vybrat všechny podstatné informace, které jsou důležité pro model. Většina vstupních parametrů je zprůměrovaná, proto tak model vytváří odchylku od skutečnosti, která je ovšem zanedbatelná. Pro model nepodstatné informace jsou například údaje týkající se auta. Model je koncipován tak, že pokud pizzař zjistí, že už nestihne pizzu upéct do konce směny, případně zbývá do konce směny méně než půl hodiny, už objednávku nepřijme. Kurýr naopak vyjede vždy pokud ještě směna běží a nevádí, pokud se vrací až po ukončení směny.

3.1. Popis konceptuálního modelu

Model, viz příloha A, je tvořen třemi hlavními větvemi. První je časovač, který udává, jak dlouho směna trvá, to je primárně 12 hodin. Druhou větev tvoří generování objednávek, to je závislé na čase a průběžně během směny objednávky generuje. Třetí větev tvoří příprava a rozvoz objednávek. Do této větve vstupují dvě proměnné, jednou je počet volných aut a druhou je druhá větev, která předává aktuální počet objednávek. Objednávka se nejdříve připravuje, poté ji kurýr odveze zákazníkovi a posléze se vrací a uvolňuje tak kapacitu auta pro další rozvoz.

3.2. Forma konceptuálního modelu

Model je realizován pomocí Petriho sítě v příloze A, která je doplněna o legendu.

4 Architektura simulačního modelu

Při zadání validních vstupních parametrů se spustí simulační experiment jednoho dne resp. jedné směny. Po kontrole vstupních parametrů proběhne inicializace simulace pomocí funkce *Init()*, kterou poskytuje knihovna SIMLIB.

Následně se vytvoří tři události, symbolizující hlavní generátory programu. Prvním je *ShiftOrders*, který v čase vypočítaným pomocí exponenciálního rozdělení generuje všechny příchozí objednávky do systému. Druhým je *ShiftBaking*. Zde se vytvoří proces *OrdersCheck*. V krátkém intervalu se kontroluje, zdali nejsou v systému nějaké přijaté objednávky. V případě, že jsou, jde je zpracovat. Třetím je *ShiftCouriers*. Uvnitř se vytvoří proces *courierGenerator*. Ten rovněž v krátkém intervalu kontroluje frontu objednávek připravených k expedici. Tu postupně odbavuje a objednávky rozváží. Před zahájením každého rozvozu se pro dané objednávky náhodně vybere vzdálenost a z ní se dopočítá čas rozvozu. K tomuto výpočtu byla použita průměrná rychlost kurýra ve městě (35 km/h)

Po dokončení simulace se na standardní výstup vypíše následující informace ohledně simulace:

- Relativní počet objednávek – je to počet, který nám říká, kolik objednávek, je zhruba možno očekávat. Objednávky pak do systému chodí s intenzitou danou délkou směny podělenou tímto číslem.
- Počet kurýrů
- Kapacita pece – počet objednávek, které je možno současně připravovat.
- Délka směny

Dále se vypíší informace ohledně výsledků simulace. Jsou to:

- Počet všech příchozích objednávek do systému.
- Počet všech přijatých objednávek.
- Počet odmítnutých objednávek – ty které přišly příliš pozdě a nezbyl by čas k jejich přípravě.
- Počet zpracovaných objednávek – ty které se stihli včas připravit i doručit.
- Počet nezpracovaných objednávek – ty které nebylo možné z nějakého nedostatku (např. příliš málo kurýrů nebo malá kapacita pece na velké množství objednávek) úspěšně připravit a doručit.

4.1. Spouštění simulačního modelu

Pro spuštění programu je nutné program přeložit pomocí příkazu *make*. Ten je následně spustitelný pomocí příkazu *make run*, kde jsou dopředně navoleny parametry. Druhou možností je spustit program pomocí ručního zadání parametrů.

Parametry jsou:

- **-o** pro zadání relativního počtu objednávek
- **-c** pro zadání počtu kurýrů
- **-f** pro zadání kapacity pece
- **-s** pro zadání délky směny. Tento parametr je volitelný. Výchozí hodnota je 12 hodin.
- **-h** pro vypsání nápovědy

Příklady spuštění:

```
./main -o 100 -c 3 -f 5 -s 12
./main -h
```

5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

5.1 Experiment 1.

První experiment, viz obrázky 1,2 a 3, měl za úkol ověřit validitu modelu. Byly použity reálné hodnoty, které jsme získali při zjišťování informací. Relativní počet denních objednávek 100, 3 kurýři a kapacita pece 5. A také hodnoty minimální. Relativní počet objednávek 10, kurýr 1, kapacita pece 1.

<pre> ===== SIMULACE ===== Relativní počet objednávek: 100 Počet kurýrů: 3 Kapacita pece: 5 Délka směny: 12 hodin ===== ===== ===== VÝSLEDEK ===== Počet všech příchozích objednávek: 108 Počet přijatých objednávek: 103 Počet odmítnutých objednávek: 5 Počet zpracovaných objednávek: 103 Počet nezpracovaných objednávek: 0 ===== </pre>	<pre> ===== SIMULACE ===== Relativní počet objednávek: 100 Počet kurýrů: 3 Kapacita pece: 5 Délka směny: 12 hodin ===== ===== ===== VÝSLEDEK ===== Počet všech příchozích objednávek: 96 Počet přijatých objednávek: 91 Počet odmítnutých objednávek: 5 Počet zpracovaných objednávek: 91 Počet nezpracovaných objednávek: 0 ===== </pre>
---	--

Obrázek 1 a 2 : Experiment 1.

<pre> ===== SIMULACE ===== Relativní počet objednávek: 10 Počet kurýrů: 1 Kapacita pece: 1 Délka směny: 12 hodin ===== ===== ===== VÝSLEDEK ===== Počet všech příchozích objednávek: 11 Počet přijatých objednávek: 11 Počet odmítnutých objednávek: 0 Počet zpracovaných objednávek: 11 Počet nezpracovaných objednávek: 0 ===== </pre>

Obrázek 3 : Experiment 1.

Z obrázků je zřejmé, že je model validní. Všechny přijaté objednávky byly úspěšně připraveny a doručeny. Nestane se, že by se některé objednávky nestihly kompletně dokončit.

5.2 Experiment 2.

Pomocí druhého experimentu, viz obrázek 4 a 5, bylo cílem zjistit maximální počet objednávek, při stávajícím počtu kurýrů a kapacity pece.

```

===== SIMULACE =====

Relativní počet objednávek: 250
Počet kurýrů: 3
Kapacita pece: 5
Délka směny: 12 hodin

=====

===== VÝSLEDEK =====

Počet všech příchozích objednávek: 267
Počet přijatých objednávek: 233
Počet odmítnutých objednávek: 34
Počet zpracovaných objednávek: 228
Počet nezpracovaných objednávek: 5
=====

```

Obrázek 4 : Experiment 2.

```

===== SIMULACE =====

Relativní počet objednávek: 500
Počet kurýrů: 3
Kapacita pece: 5
Délka směny: 12 hodin

=====

===== VÝSLEDEK =====

Počet všech příchozích objednávek: 511
Počet přijatých objednávek: 235
Počet odmítnutých objednávek: 276
Počet zpracovaných objednávek: 233
Počet nezpracovaných objednávek: 2
=====

```

Obrázek 5 : Experiment 2.

Při použití velkého množství příchozích objednávek za stávajícího počtu kurýrů a kapacity pece jsme se dostali na průměrnou hodnotu 230 přijatých objednávek a 230 zpracovaných objednávek. Začínají se zde objevovat zakázky, které z nedostatku zdrojů nebylo možné úspěšně doručit. Vzrostl také počet odmítnutých objednávek. Systém při enormním množství začal vypočítávat objednávky, které je možno stihnout. Zbylé začal odmítat.

5.3 Experiment 3.

Třetí experiment měl za cíl nalézt potřebný počet kurýrů a kapacity pece, aby bylo možné zpracovat množství objednávek z minulého experimentu.

```

===== SIMULACE =====

Relativní počet objednávek: 250
Počet kurýrů: 7
Kapacita pece: 7
Délka směny: 12 hodin

=====

===== VÝSLEDEK =====

Počet všech příchozích objednávek: 249
Počet přijatých objednávek: 239
Počet odmítnutých objednávek: 10
Počet zpracovaných objednávek: 239
Počet nezpracovaných objednávek: 0
=====

```

Obrázek 6 : Experiment 3.

Při relativním počtu objednávek 250 s navýšením počtu kurýrů na 7 a kapacitou pece na 7 kusů je možno objednávky zpracovat.

```

===== SIMULACE =====

Relativní počet objednávek: 500
Počet kurýrů: 12
Kapacita pece: 20
Délka směny: 12 hodin

=====

===== VÝSLEDEK =====

Počet všech příchozích objednávek: 480
Počet přijatých objednávek: 303
Počet odmítnutých objednávek: 177
Počet zpracovaných objednávek: 303
Počet nezpracovaných objednávek: 0
=====

```

Obrázek 7 : Experiment 3.

Při relativním počtu objednávek 500 jsme se dostali nejvýše k počtu zpracovaných objednávek kolem 300. Byly vyzkoušeny různé varianty počtu kurýrů v rozmezí 10-20 a kapacitou mezi 10-20. Přičemž nejlepší výsledky vychází v kombinaci 12 kurýrů a kapacitou pece 20. K lepším hodnotám se bohužel nelze dostat. Hlavním omezujícím faktorem se stává směna 12 hodin.


```

===== SIMULACE =====

Relativní počet objednávek: 500
Počet kurýrů: 12
Kapacita pece: 20
Délka směny: 18 hodin

=====

===== VÝSLEDEK =====

Počet všech příchozích objednávek: 517
Počet přijatých objednávek: 451
Počet odmítnutých objednávek: 66
Počet zpracovaných objednávek: 451
Počet nezpracovaných objednávek: 0
=====

```

Obrázek 8 : Experiment 3.

Počet úspěšně zpracovaných objednávek se při navýšení délky směny z 12 hodin na 18 razantně zlepšil. Bohužel v reálném světě jsou 18 hodinové směny nereálné.

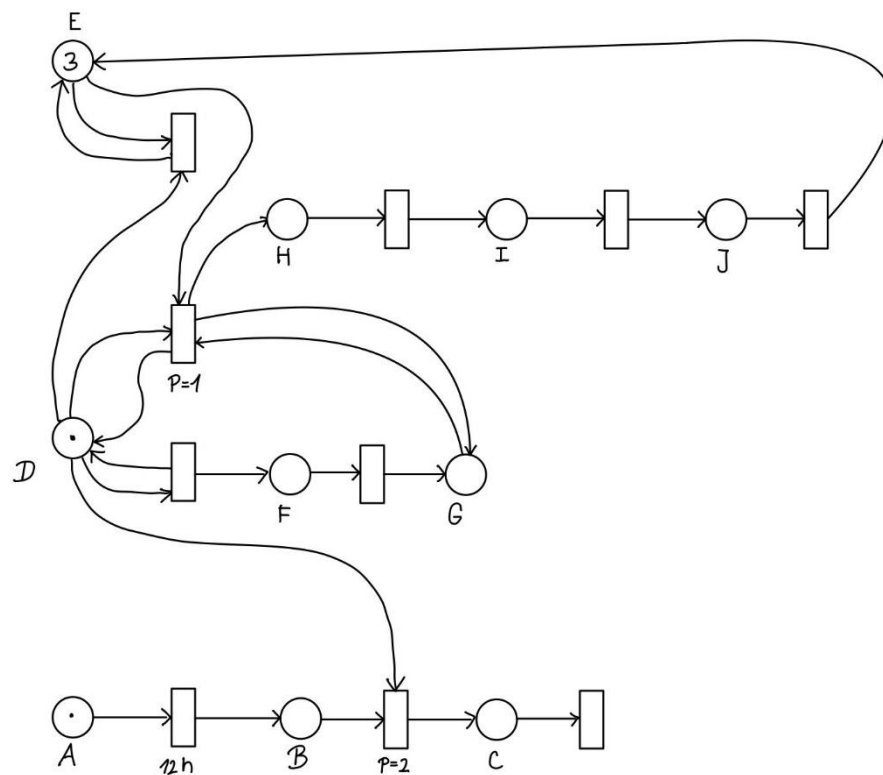
6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Bylo provedeno více než 6 experimentů v odlišných podmínkách. V průběhu experimentování byla zjištěna validita modelu. Při výchozích hodnotách parametrů modelu, které odpovídají získaným reálným datům, se model choval velmi obdobně k reálnému systému.

Díky experimentům se podařil odhadnout počet objednávek, které lze připravit v závislosti na zadaných zdrojích. Některé experimenty nám ukázaly, jaké jsou limitní hranice systému. Bylo by možné provést další experimenty, pomocí kterých by se dal zjistit výhodnější postup při navyšování produkce. Zdali zaměstnat dalšího kurýra nebo pouze zavést výkonnější techniku.

V rámci tohoto projektu vznikl program, který vychází z modelu reálného systému pizzerie Cartel. Tento program byl implementován v jazyce C/C++ za použití knihovny SIMLIB, viz kapitola 2. Při spuštění tohoto programu je možné měnit vstupní parametry, viz kapitola 4, a provádět tak simulační experimenty pro případy, které nás budou aktuálně zajímat.

Petriho síť



- A** Začátek směny
- B** Čekání na ukončení směny
- C** Ukončení směny
- D** Identifikátor, je-li směna
- E** Počet volných aut
- F** Generování objednávek
- G** Počet nerozvezených objednávek
- H** Objednávka se připravuje
- I** Kurýr rozváží
- J** Kurýr se vrací na pobočku

Literatura

- [1] Peringer, P.; Hrubý, M.: Modelování a simulace, Text k přednáškám kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně. [online], 21. září 2020, [vid. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [2] Cartel Pizza: Cartel Pizza. [online], 2020, [vid. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.cartelpizza.cz/olomouc>
- [3] Peringer, P.; Leska, D.; Martinek, D.: SIMLIB/C++ (SIMulation LIBrary for C++). [online], 19. října 2018, [vid. 2020-12-07]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB>