



Simulační studie
Rozvoz jídla firmou Freshbox
Tým: ModelX
Varianta 2: Doprava zboží nebo osob

9. prosince 2018

Dominik Harmim (xharmi00)
Vojtěch Hertl (xhertl04)

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	Mapování konceptuálního modulu do simulačního modelu	3
4.2	Spouštění simulačního modelu	4
5	Podstata simulačních experimentů a jejich průběh	4
5.1	Postup experimentování	4
5.2	Experimenty	4
5.2.1	Experiment 1	5
5.2.2	Experiment 2	5
5.2.3	Experiment 3	5
5.2.4	Experiment 4	5
5.3	Závěry experimentů	6
6	Shrnutí simulačních experimentů a závěr	6
A	Petriho síť	8

1 Úvod

V této práci je řešen proces sestavování modelu [2, snímek 7] pro rozvoz jídla po Brně firmou Freshbox [1] a jeho následná simulace [2, snímek 33]. Díky tomuto modelu a simulačním experimentům [2, snímek 9] nad ním je možno pozorovat efektivitu a přínos v různých podmínkách. Smyslem experimentů je zjistit, jak kvalitně navržený je systém [2, snímek 18] a zda by se změnou některého z ovlivňujících faktorů mohl zdokonalit. V reálném systému může být obtížné a finančně nákladné tyto ovlivňující faktory měnit a zjišťovat, jak se bude systém chovat, proto je vhodné získat nové znalosti o reálném systému použitím principů modelování a simulace [2, snímek 9].

1.1 Autoři, zdroje

Projekt vypracovali studenti Dominik Harmim a Vojtěch Hertl z FIT VUT v Brně.

K technické části této práce bylo využito zdrojů z kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně. Jako zdroj k faktům sloužily webové stránky firmy Freshbox a také vedoucí této firmy, Mgr. Silvie Obadalová (obadalova@freshbox.cz).

1.2 Ověření validity

Ověřování validity [1, snímek 37] probíhalo telefonicky a elektronicky s vedoucí firmy Freshbox, magistrou Obadalovou. Na základě této komunikace byla získána všechna data potřebná k experimentálnímu ověřování validity modelu. Statistická data byla extrahována z naměřených statistik firmy Freshbox. Validita byla také ověřena pomocí experimentů a srovnáním s realitou.

2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Všechna použitá fakta jsou zprůměrována ze všech získaných informací.

Zákazníci mají předem objednaná jídla od firmy Freshbox, která tato jídla každý den od 6:30 hodin do 12:30 hodin (tj. 6 hodin) rozváží zákazníkům po Brně a okolí. Firma Freshbox rozváží jídlo 16 auty, přičemž jedno auto je schopné naložit maximálně 500 jídel. Každý den se rozváží průměrně 21 200 jídel \pm 1 000 jídel. Firma má na začátku rozvozu již všechna jídla připravena a v 6:30 hodin se připraví všechna auta, do kterých se naloží maximální počet jídel, který je dán maximální kapacitou auta. Naložení jednoho auta průměrně trvá 11 minut \pm 3 minuty. Rozvoz všech jídel jednoho auta trvá průměrně 97 minut \pm 12 minut. Při tomto rozvozu každé auto urazí průměrně 43 km \pm 8 km. Pro rozvoz se používají auta Volkswagen Caddy 1.9 TDI. Tato auta mají spotřebu 7,7 l/100 km¹ nafty při městském provozu. Když auto rozveze všechna naložená jídla, vrátí se na pobočku Freshbox, aby se mohla naložit další jídla. Samotné nakládání jídel provádí sám řadič daného auta. Tento proces se opakuje tak dlouho, dokud nejsou rozvezena všechna jídla. Jeden zákazník (právnícká nebo fyzická osoba) si samozřejmě může objednat více jídel na jedno místo doručení, což se typicky děje, protože pravidelnými zákazníky jsou firmy, které si objednávají denně řádově desítky jídel.

2.1 Použité postupy

Pro vytvoření modelu byl použit programovací jazyk C++ za podpory simulační knihovny SIMLIB [3]. Tyto technologie jsou ideální pro řešení zadaného problému, jelikož poskytují všechna potřebná rozhraní k implementaci modelu. Další výhodou je, že se jedná o otevřený software, jsou to multi-platformní technologie a poměrně jednoduše se používají, nejedná se o nic zbytečně těžkopádného. Dále byly použity postupy popsané v textech ke kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně [2] k vytváření Petriho sítě [2, snímek 123] a samotnému programování za použití knihovny SIMLIB.

¹<https://www.auto-data.net/en/volkswagen-caddy-maxi-life-typ-2k-1.9-tdi-105hp-8855>

2.2 Popis původu použitých metod/technologií

Použili jsme standardní třídy a funkce jazyka C++¹. Drželi jsme se standardu C++14. Využívali jsme možnosti oběktově orientovaného návrhu.

Pro překlad zdrojových souborů byly použity nástroje CMake² a GNU Make³.

Knihovna SIMLIB byla získána z oficiálních stránek tohoto nástroje⁴. Použili jsme nejnovější dostupnou verzi (ke dni 9. prosince 2018), tj 3.07. Autory tohoto nástroje jsou Petr Peringer, David Leska a David Martinek, viz [3]. Pro účely vytvoření našeho simulačního modelu [2, snímek 44] jsme používali standardní nástroje a rohraní této knihovny.

3 Koncepce modelu

V této sekci se zpracovává návrh konceptuálního (abstraktního) modelu [2, snímek 48] nad systémem, který je brán ze své podstaty jako systém hromadné obsluhy [2, snímek 136]. Při vytváření je potřeba vybrat ze všech údajů ty podstatné informace pro model. Z rozboru tématu plyne, že je důležité namodelovat všechno, co souvisí se samotným rozvozem. Díky skutečnosti, že všechny jednotlivé údaje jsou zprůměrovány, je zapotřebí simulovat průběh jednoho dne, přičemž se samozřejmě může den ode dne nepatrně lišit. Na oba proměnné časové údaje při modelování se tedy použije rovnoměrné rozdělení [2, snímek 89] s vyhovující odchylkou. Aby se model zjednodušil, průměrný počet jídel, který se každý den rozváží, se zaokrouhlí, aby byl dělitelný maximální kapacitou aut. Na validitu to má nepatrný vliv, až zanedbatelný, jelikož jsou údaje zprůměrovány. Dále značka auta, spotřeba paliva a cena nejsou pro model důležité, tyto informace budou použity při zefektivňování systému. Přesto, že tato situace reálně často, díky již nabraným zkušenostem z reality, nenastává, pro lepší experimentování je přidán druhý koncový stav, který znamená, že směna skončí dříve než jsou rozvezena všechna jídla, tedy nějaká jídla zbydou na skladě. Tento stav značí neúspěšné dokončení směny, protože se nestihlo rozvést všechno jídlo v časovém limitu. Předpokládá se také, že auto, které započne ještě během pracovní směny svůj cyklus, ho celý dokončí. Ovšem pokud mezitím skončila směna, znamená to, že byl rozvoz neúspěšný z časového hlediska.

3.1 Popis konceptuálního modelu

Model, viz příloha A, se skládá ze dvou hlavních větví. První značí samotný průběh rozvozu jídel a druhá časovač. Druhá z větví jen určuje, jak dlouho probíhá pracovní směna, to je 6 hodin, a jakmile směna skončí, skončí rozvoz jídel. První větev má dvě vstupní proměnné – počet aut a počet jídel. Auto zde slouží jako obslužná linka, kde pokud je některé volné a připravené na rozvoz a zároveň jsou ještě nějaká jídla na skladě, začnou se nakládat. Pokud ale již byla všechna jídla rozvezena a všechna auta jsou připravena na rozvoz, skončí pracovní směna. Po naložení jídel se auto vydá na cestu a všechna jídla rozveze. Po ukončení této činnosti je auto zase volné a připraveno k dalšímu použití.

3.2 Forma konceptuálního modelu

Model je vizualizován pomocí Petriho sítě v příloze A a doplněn informacemi a legendou.

4 Architektura simulačního modelu

Při spuštění simulačního modelu [2, snímek 44] se 5krát po sobě spustí simulační experiment se zadanými parametry, viz kapitola 4.2. Po dokončení běhu simulace se na standardní výstup vypíše informace o provedeném

¹<https://cppreference.com/w/cpp>

²<https://cmake.org>

³<https://www.gnu.org/software/make>

⁴<http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB>

experimentu. Před začátkem každého z experimentů se vypíše modelový čas [2, snímek 21] začátku experimentu, počet dostupných aut pro rozvážení jídla a počet jídla, které je potřeba rozvézt. Na konci každého z experimentů se vypíše modelový čas konce experimentu, počet jídel, které se nestihly rozvézt, celková auty ujetá vzdálenost, celková spotřeba pohonných hmot všech aut, informace o skladu [2, snímek 184] aut a statistiky ohledně času nakládání aut, době trvání rozvozu jídel, ujeté vzdálenosti a spotřebě aut.

Před spuštěním každého z experimentů se inicializuje modelový čas tak, aby doba trvání experimentu odpovídala jednomu dni v reálném čase [2, snímek 21], protože modelujeme jeden den rozvozu jídla. Jedna časová jednotka modelového času odpovídá jedné minutě v reálném čase.

Spuštění experimentu v simulačním modelu znamená vytvořit a aktivovat proces [2, snímek 121], který reprezentuje pracovní směnu a následně spustit samotnou simulaci. Tento proces reprezentující pracovní směnu lze vytvořit s parametry, které mění chování simulace. Tyto parametry jsou měněny při spouštění jednotlivých experimentů. Jedná se o parametr značící počet aut pro rozvoz jídel a průměrný počet jídel pro rozvoz.

Na algoritmu 1 je znázorněno chování procesu pracovní směny a na algoritmu 2 je znázorněno chování procesu auta.

vytvoření události reprezentující časovač, který po určité době ukočí směnu;

```
while jsou na skladě jídla připravena k rozvozu do
    čekání na volné auto a jeho zabrání;
    if na skladě už nejsou žádná jídla then
        vrácení auta do skladu aut;
        break;
    else
        odebrání jídel ze skladu, které budou naloženy do auta;
        vytvoření a aktivace procesu auta;
    end
end
čekání, až budou všechna auta ve skladu;
ukončení směny;
```

Algoritmus 1: Chování procesu pracovní směny

```
čekání na naložení auta;
čekání na rozvezení všech jídel;
vrácení auta do skladu aut;
```

Algoritmus 2: Chování procesu auta

4.1 Mapování konceptuálního modulu do simulačního modelu

Jak je popsáno v kapitole 3.1 a znázorněno v Petriho síti v příloze A, časovač, který ukončí směnu po uplynutí konce směny, je v simulačním modelu implementován jako událost [2, snímek 169], která při jejím vytvoření naplánuje sama sebe na čas, kdy má pracovní směna skončit. V popisu chování této události je potom implementováno ukončení procesu pracovní směny. Této události v simulačním modelu odpovídá třída `WorkShiftTimer`.

Pracovní směna je v simulačním modelu implementována jako proces, který při svém vytvoření vytvoří a inicializuje sklad [2, snímek 184] aut a sdílenou proměnnou, která reprezentuje momentální počet jídel pro rozvoz. Chování tohoto procesu je znázorněno algoritmem 1. Tomuto procesu v simulačním modelu odpovídá třída `WorkShift`.

Rozvoz jídla auty je v simulačním modelu implementováno procesem, jehož chování je znázorněno na algoritmu 2. Tomuto process v simulačním moodelu odpovídá třída Car.

4.2 Spouštění simulačního modelu

Simulační model je před jeho prvním spuštěním nejdříve potřeba přeložit příkazem `make` nebo příkazem `make build` nebo příkazem `make ims-project`.

Spuštění simulačního modelu se provádím příkazem `make run`. Při tomto spuštění je simulační model spuštěn s výchozími hodnotami vstupních parametrů, které jsou popsány v experimentu v kapitole 5.2.1. Při spouštění ostatních experimentů, viz kapitola 5.2, byl simulační model spuštěn s jinými hodnotami vstupních parametrů. Simulační model je možné spustit s parameterem `-c` nebo `--cars`, který značí počet aut pro rozvoz jídel a/nebo s parameterem `-f` nebo `--food`, který značí průměrný počet jídel pro rozvoz. Syntaxe příkazu pro spouštění simulačního modelu s těmito parametry vypadá následovně (C musí být kladné celé číslo a F musí být kladné reálné číslo):

```
make run [ARGS='[-c C|--cars C][-f F|--food F]']
```

Např. u experimentu v kapitole 5.2.4 u druhého řádku tabulky 4 byl experiment spuštěn příkazem:

```
make run ARGS='-c 42 -f 40000'
```

5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Cílem experimentů bylo nejdříve ověřit validitu modelu, případně zpětně upravit vstupní průměrné hodnoty, aby byl model co nejpodobnější skutečnosti. Další podstatou experimentů bylo demonstrovat, jak je systém efektivní, zjistit jeho limity a pokusit se o optimalizaci. Pomocí posledního experimentu se zjišťovalo, jestli je možné bez ohledu na režii systém rozšířit a urychlit pracovní směnu.

5.1 Postup experimentování

Každý experiment spočíval ve spuštění simulace 5krát po sobě v cyklu se zvolenými hodnotami. Všechny podstatné výstupní údaje se poté vložily do tabulky a zprůměrovaly. V každém experimentu také probíhala kontrola úspěšnosti, tedy zda se stihlo rozvést všechno jídlo během směny. Pokud směna skončila v momentě, kdy bylo alespoň 1 auto na cestě, experiment se označil za neúspěch. Pokud není stoprocentní úspěšnost, nelze počítat, že je experiment validní a celý se považuje za neúspěšný. Nakonec se z výsledků učiní závěr a pokud nebyl experiment úspěšný, jsou na základě těchto dat zvoleny nové vstupní hodnoty pro další experiment.

Postup experimentování lze tedy shrnout následovně:

1. Určení vstupních hodnot, podle zadání experimentu.
2. Spuštění simulace.
3. Vypsání výstupů do tabulky.
4. Zprůměrování výsledků, zhodnocení a učinění závěru.

5.2 Experimenty

U jednotlivých experimentů je shrnut cíl a smysl daného experimentu. Každý experiment zahrnuje výpis jeho výsledků s patřičným popisem a shrnutím závěru experimentu.

Počet jídel	Počet aut	Celkový čas [h:m]	Ujetá vzdálenost [km]	Spotřeba [l]	Úspěch
21 400	16	5:36	1 831	140,9	100 %

Tabulka 1: Experiment 1

5.2.1 Experiment 1

První experiment, viz tabulka 1, má za úkol ověřit validitu modelu. Používá reálné hodnoty, které byly získány při zjišťování informací. Průměrný počet jídel je tedy 21 200 a počet aut 16. Spuštěn byl jen jednou.

Z tabulky 1 je zřejmé, že je model validní. Celkový čas nedosahuje nikdy 6 hodin, rozvoz má dokonce průměrně 14 minut rezervu.

5.2.2 Experiment 2

Cílem druhého experimentu, viz tabulka 2, bylo zjistit limity systému ve smyslu, kolik jídel je za aktuálních podmínek firma schopná rozvézt za jednu směnu. Vstupní hodnota „počet jídel“ byla tedy při každém novém experimentu zvýšena o určitou hodnotu.

Počet jídel	Počet aut	Celkový čas [h:m]	Úspěch	Průměrný počet jídel
21 400	16	5:36	100 %	21 200
23 400	16	5:39	100 %	23 000
24 500	16	5:57	20 %	24 200

Tabulka 2: Experiment 2

Při použití průměrného počtu jídel 23 000 byla úspěšnost rozvozu ještě stoprocentní, ale při zvýšení této hodnoty o dalších 1 200 už z 80 % pokusů doba směny dosáhla na hodnotu 6 hodin a některá auta stále ještě rozvázela. Z experimentů vyplynulo, že při překročení hranice 24 000 jídel nebylo téměř možné stihnout rozvoz v časovém intervalu.

5.2.3 Experiment 3

V tomto experimentu, viz tabulka 3, je záměr zjistit díky změně počtu aut, zda se nedá snížit spotřeba paliva a tím snížit režii. Postupným odebráním nebo přidáváním rozvážejících aut se bude ujetá vzdálenost a spotřeba měnit.

Počet jídel	Počet aut	Celkový čas [h:m]	Ujetá vzdálenost [km]	Spotřeba [l]	Úspěch
21 400	16	5:36	1 831	140,9	100 %
21 400	15	5:44	1 836	141,3	100 %
21 400	14	5:57	1 801	138,6	40 %
21 400	17	5:30	1 839	141,6	100 %
21 400	25	3:47	1 837	141,4	100 %

Tabulka 3: Experiment 3

Tento experiment vrací neočekávané výsledky. Při změně počtu aut, pokud je úspěšnost stoprocentní, se vzdálenost a tedy i spotřeba liší jen nepatrně. Je zřejmé, že čím více by se udělalo pokusů, tím více by si byly hodnoty podobné. Lze tedy usoudit, že spotřeba není závislá na počtu aut, ale spíše na počtu rozvážených jídel.

5.2.4 Experiment 4

Díky poslednímu experimentu je snaha dojít k závěru, jestli systém ustojí i při větších číslech. Zvýšení počtu průměrně rozvážených jídel na 40 000 a zároveň požadavek zrychlení rozvozu o hodinu, takže maximální

přípustný čas je 5 hodin. Proměná bude počet aut, nezáleží na ceně.

Počet jídel	Počet aut	Celkový čas [h:m]	Ujetá vzdálenost [km]	Spotřeba [l]	Úspěch (5h)
39 700	40	4:34	3 417	263,1	60 %
39 700	42	3:50	3 397	262,2	100 %

Tabulka 4: Experiment 4

Už po dvou experimentech se podařilo dosáhnout stoprocentní úspěšnosti. Při 40 autech byly nějaké pokusy neúspěšné, ale při 42 autech se stihla všechna jídla rozvézt průměrně za 3 hodiny a 50 minut, což je dokonce o hodinu rychleji než bylo požadováno.

5.3 Závěry experimentů

Bylo provedeno více než 9 experimentů v různých podmínkách. V průběhu experimentování byla zjištěna validita původního modelu. Díky dalším experimentům se podařilo zjistit několik užitečných informací, které mohou být použity ke zkvalitnění systému. Některé z experimentů ukázaly, jaké jsou limitní hranice systému.

Bylo by možné provést další experimenty, kterými by se dalo zjistit, jak by se systém choval, kdyby se měnila doba trvání pracovní doby. Další užitečné informace by se daly získat z provedení experimentů, ve kterých by se změnil typ auta, které se používají pro rozvoz jídla, tj. změnila by se maximální kapacita auta a jeho spotřeba. V tomto případě by se ale musely nějakým vhodným způsobem spočítat a nebo na základě nějakých známých faktů odhadnout ostatní parametry systému, např. doba nakládání auta nebo doba rozvozu jídel.

Experimenty lze považovat s dostatečnou věrohodností za správný zdroj informací, neboť se každý experiment skládal z několika pokusů, z nichž byly všechny výsledky ještě zprůměrovány.

6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

Simulačními experimenty provedenými na našem modelu, viz kapitola 5.2.1, byla ověřena jeho validita, protože při výchozích hodnotách parametrů modelu, které odpovídají získaným reálným faktům, se model chová analogicky k reálnému systému.

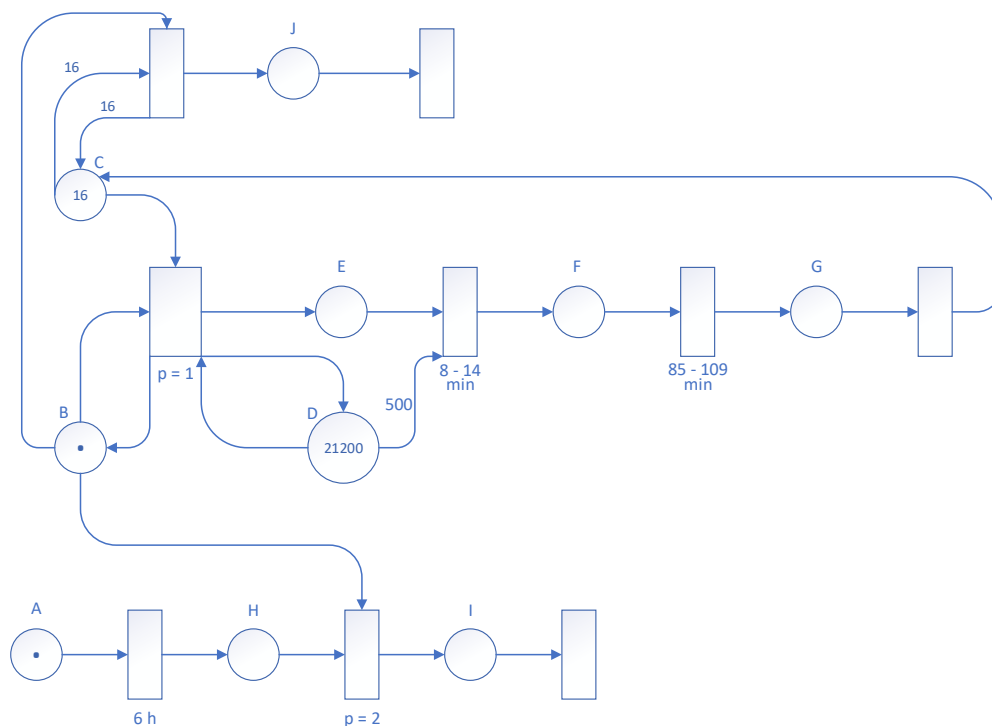
Studii provedenou na našem modelu bylo prokázáno, že systém je navržený tak, že za současných podmínek se vždy během pracovní směny stihne rozvézt všechno objednané jídlo jednotlivým zákazníkům. Z výsledků simulačních experimentů dále vyplývá, že systém je za současných podmínek schopný rozvozu maximálně průměrně 23 000 jídel za jeden den, více viz kapitola 5.2.2. V rámci simulačních experimentů bylo také zjištěno, že při zvyšujícím se počtu aut pro rozvoz jídla se nesníží celková spotřeba aut, pouze se zrychlí celkový čas, za jaký budou jídla rozvezena.

V rámci tohoto projektu vznikl nástroj, který vychází z modelu reálného systému firmy Freshbox. Mezi modelovaným systémem a konceptuálním modelem systému je homomorfní vztah [2, snímek 28]. Tento nástroj byl implementován v jazyce C++ za použití knihovny SIMLIB. Při spuštění tohoto nástroje je možné měnit některé vstupní parametry systému a provádět tak různé simulační experimenty. Výstupem nástroje jsou statistiky a informace o systému po skončení simulace, viz 4.

Literatura

- [1] Freshbox: Freshbox. [online], 2018, [vid. 2018-12-05]. Dostupné z: <http://www.freshbox.cz>
- [2] Peringer, P.; Hrubý, M.: Modelování a simulace, Text k přednáškám kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně. [online], 22. listopad 2018, [vid. 2018-12-05]. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [3] Peringer, P.; Leska, D.; Martinek, D.: SIMLIB/C++ (SIMulation LIBrary for C++). [online], 19. září 2018, [vid. 2018-12-05]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB>

A Petriho síť



- | | |
|---|------------------------------------------------------------------|
| A | Začátek směny, spuštění časovače. |
| B | Identifikátor, je-li směna. |
| C | Volná auta. |
| D | Počet jídel zbylých k rozvozu. |
| E | Auta se nakládají. |
| F | Auta rozváží jídla. |
| G | Auta skončila rozvoz. |
| H | Čekání na ukončení směny z časového důvodu. |
| I | Ukončení směny z časového důvodu. |
| J | Ukončení směny z důvodu rozvezení všech jídel před koncem směny. |

Obrázek 1: Petriho síť