

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Dokumentace projektu IMS – Modelování a simulace
Model supermarketu

1 Úvod

Práce se zabývá simulováním front v supermarketu. Získaný model lze upravit na většinu supermarketů a následně sledovat zda-li je supermarket dobře navržen nebo jestli je potřeba vystavět více pokladen, přijmout více prodavačů nebo změnit pravidla pro otvírání pokladen.

1.1 Autoři

Martin Molek a Petr Nodžák, FIT VUT.

1.2 Vzorek

Sbírání vzorových dat probíhalo v době špičky v obchodě Billa v Kounicově ulici v Brně. Jedná se o supermarket se šesti pokladnami a vzhledem ke své lokaci do něj chodí převážně vysokoškolští studenti. Sběr dat probíhal přes půl hodiny a bylo naměřeno přes dvě stě vzorků zákazníků¹.

2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Vzhledem k tomu, že do zmíněného obchodu chodíme, věděli jsme, že špička nastává kolem čtvrté hodiny odpolední ve všední dny, především ve středu. Data byla sbírána 23. 11. 2016. Po dobu měření bylo otevřeno pět až šest pokladen v závislosti na poruchách a dostupném personálu. Doby obsluh na pokladnách jsme měřili u dvou pokladen současně a výsledky aplikovali i na zbylé pokladny. U uzenin se netvořila fronta, i když je obsluhoval pouze jeden zaměstnanec a navštívilo je 11% zákazníků.

2.1 Postup měření a zpracování dat

Měření probíhalo na místě zapisováním časů příchodů zákazníků do obchodu, měřením času obsluhy (doby mezi vydáním účtenek) a doby obsluhy v uzeninách. Údaje jsme zaznamenávali ve vteřinách a všechny časové intervaly v modelu jsou taktéž ve vteřinách. Data jsme zpracovali v tabulkovém kalkulátoru a aproximovali na kombinace lineárních a exponenciálních rovnic. Vzhledem k tomu, že je práce zaměřena na tvoření front, neměřili jsme dobu strávenou nakupováním jednotlivých zákazníků. Ostatní studie [1] uvádí, že průměrný čas strávený v obchodě je přes půl hodiny, avšak v našem obchodě nakupovali lidé méně položek, takže jsem zvolili průměrný čas deset minut a k tomu stání ve frontě.

2.2 Použité postupy pro vytváření modelu

Použili jsme jazyk C++, jelikož podporuje knihovnu SIMLIB, jejíž třídy jsou vhodné pro simulaci tohoto zadání. Použité algoritmy se nachází ve slajdech k přednáškám do předmětu IMS [3] a k demonstračním cvičením ([4][5]) z IMS. Implementace a všechny experimenty nad simulačním modelem byly vykonány na operačním systému Linux, distribued 14.04 LTS. Dokumentace a grafy zobrazující jednotlivé informace byly vysázeny v L^AT_EXu.

¹Zákazníkem je v této práci myšlena osoba/skupina osob, která dostane jednu účtenku, takže pár který bude ve frontě platit spolu zabírá jedno místo.

2.3 Původ použitých technologií

- C++
- SIMLIB/C++
- Ubuntu 14.04 LTS
- www.sharelatex.com

3 Koncepce

Cílem projektu je simulovat supermarket s potravinami a průchod zákazníků celým systémem. Z celkového modelu byl vynechán například útěk zákazníka bez placení, to znamená, že každý musí projít procesem nakupování a placení. Dále je z reálného systému vynecháno cyklení se v obchodu, ve smyslu takovém, když si zákazník rozmyslí, že něco zapomněl, tak už se nemůže vrátit k žádné předchozí akci. V systému se taktéž nemyslí na „netrpělivé zákazníky“ a když už si do fronty stoupne, tak si v ní počká. Porucha na pokladně v modelovaném systému může vstoupit i do „vypnuté“ pokladny, což by se v reálném systému taktéž nemělo stát.

3.1 Návrh konceptuálního modelu

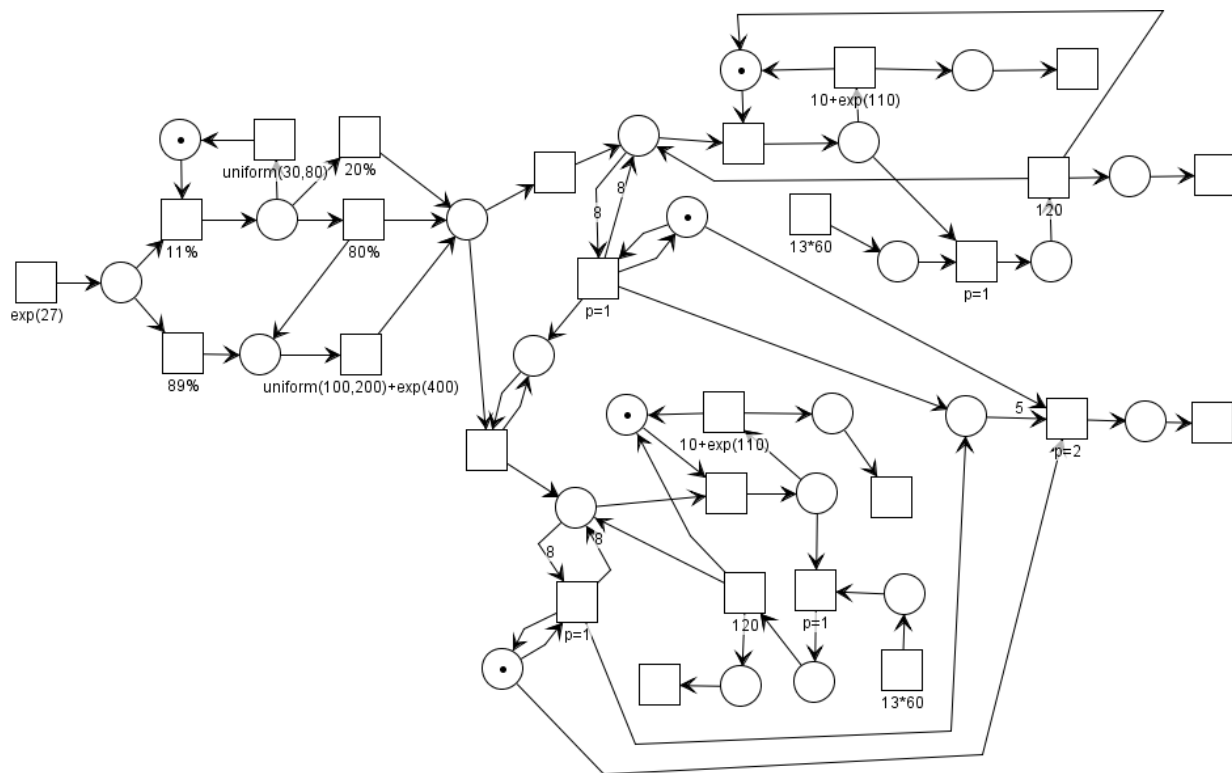
Vstupem do simulace je zákazník, který přichází s exponenciálním rozložením, následně se rozhoduje zda půjde k pultu s uzeninami nebo půjde jen nakupovat. Po odchodu od uzenin se rozhoduje zda půjde rovnou k pokladně, nebo bude ještě nakupovat. Pokladnu vybírá z otevřených s nejkratší délkou. Nová pokladna se otevírá na základě délky fronty u pokladny a zavírá pokud má po nějaké době fronta u pokladny délku 0. Pokud je pokladna volná, tak ji zabere a po době určené exponenciální rozložením ji opustí, tím se z fronty vybere další zákazník, který tuto pokladnu zabere. Výstupem simulace je histogram času, který zobrazuje jednotlivé délky zákazníků v systému.

3.2 Formy konceptuálního modelu

Abstraktní model supermarketu byl popsán pomocí Petriho sítě ([3], slajd 123), byl vytvořen na základě naměřených a spozorovaných údajů. Pro větší abstrakci modelu není v petriho síti namodelováno zavírání pokladny, jelikož by to až znepráhlednilo celkový model sítě. Dále je zjednodušen vstup chyby do systému.

4 Architektura simulačního modelu/simulátoru

V implementaci jsou jednotliví zákazníci generováni generátorem typu *Event* ([3], slajd 169), který se na začátku simulace zaktivuje a vygeneruje tak prvního zákazníka a zároveň nastaví čas vygenerování dalšího zákazníka daný exponenciálním rozložením se středem 14 sekund. Hned poté je spuštěn generátor chyb stejného typu, který generuje chybu na náhodně vybrané pokladně za čas daný uniformním rozložením (7, 14) minut. Uzeniny a jednotlivé pokladny jsou modelovány, jako typ *Facility* ([3], slajd 146) každý se svojí vlastní *frontou* ([3], slajd 138). Hlavní část simulace tvoří třída *Zakaznik*, která dědí z třídy *Process* ([3], slajd 171). Tato třída simuluje průchod zákazníka obchodem. K simulaci času jsou využity metody *Exponential()* ([3], slajd 91) a *Uniform()* ([3], slajd 89), k náhodnému rozhodování je využita metoda *Random()* ([3], slajd 97). Simulaci chyby na pokladně tvoří třída *Oprava*, která dědí z třídy *Process*. Pro zachytávání



Obrázek 1: Model supermarketu pomocí petriho sítě

času zákazníka v systému ([3], slajd 7) je využito třídy Histogram ([3], slajd 81), do které se zapisuje, když zákazník opouští systém.

5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Zkoumat, jestli je kapacita dostatečná. Jsou naše naměřená data správná? Při jakém „přítoku“ lidí se začne tvořit dlouhá/nekonečná fronta? Tady by mohly být nějaké, tabulky s výsledkami.

5.1 Numerické ověření

Pokud pomineme poruchy pokladen a výkyvy v intervalech příchodů zákazníků, musí platit rovnice

$$\text{Intervaly prichodu} \leq \text{Intervaly odchodu}$$

$$\text{Prumerny interval prichodu} \leq \text{Prumerna doba skenovani} + \text{Prumerna doba placeni}$$

$$\int_0^1 p \cdot \log(x) dx \leq \left(\int_0^1 t_{skan} \cdot \log(x) dx + \frac{1}{2} \cdot (t_{min placeni} + t_{max placeni}) \right) \cdot \frac{1}{o}$$

$$p \leq (t_{skan} + \frac{1}{2}(t_{min placeni} + t_{max placeni})) \cdot \frac{1}{o}$$

Přičemž p jsou příchody, t_{skan} , $t_{min placeni}$, $t_{max placeni}$ jsou doby skenování a placení a o je počet pokladen. Vypočtené hodnoty nám mohou sloužit jako data pro první experiment se systémem.

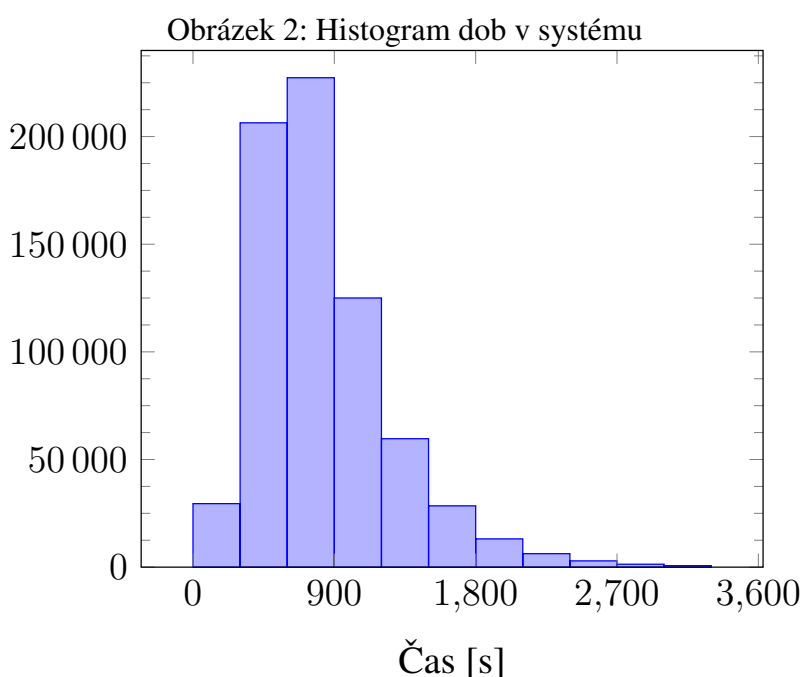
5.2 Jednotlivé experimenty

5.2.1 Experiment 1

Tento experiment probíhá bez nastavení vstupních parametrů, tedy s hodnotami, které jsme naměřili. Generování zákazníků probíhá s exponenciálním rozložením se středem 14 a délka fronty pro otevření nové pokladny je 6. Při délce simulace 10 000 000 sekund přijde 700 426 zákazníků. Vytížení pokladen, průměrná doba ve frontě a průměrná doba otevření pokladny je zobrazeno v tabulce 2, doba zákazníků v systému je znázorněna v histogramu 2.

Vytížení pokladen[%]	Průměrná doba otevření pokladny[min]	Průměrná doba ve frontě[sec]
79,44	54,50	332,939

Tabulka 1: Experiment 1



5.2.2 Experiment 2

Cílem tohoto experimentu bylo zjistit, kdy se začnou tvořit nezvladatelné fronty, a také hranici stability celého programu.

Vycházelo se ze vzorce $\text{prumerna_doba_skenovani} + \text{prumerna_doba_placeni} / \text{pocet_pokladen}$, čili $(55 + 10) / 6 = 10.88$. Toto číslo by mělo znázorňovat hranici stability systému. Experiment je tedy spouštěn s parametrem generování zákazníků s exponenciálním rozložením se středem 11 a délka fronty pro otevření nové pokladny je 6. Při délce simulace 10 000 000 sekund přijde 890 868 zákazníků. Vytížení pokladen, průměrná doba ve frontě a průměrná doba otevření pokladny je zobrazeno v tabulce 3.

Vytížení pokladen[%]	Průměrná doba otevření pokladny[min]	Průměrná doba ve frontě[sec]
99,92	8771,92	8606,35

Tabulka 2: Experiment 2

5.2.3 Experiment 3

Tento experiment se zaměřuje na optimalizaci systému, který by se dal vylepšit tím, že se změní délka fronty pro otevření nové pokladny, generování zákazníků s exponenciální rozložením se středem 14 zůstává. Jednotlivé průměry doby otevření pokladny a průměrná doba ve frontě na pokladnu je jsou zobrazeny v tabulce 4.

Délka fronty	Průměrná doba otevření pokladny[min]	Průměrná doba ve frontě[sec]
4	26,17	257,279
5	39,94	296,713
6	54,50	332,939
7	72,50	369,071
8	88,70	403,856
9	106,90	439,043
10	127,25	474,414

Tabulka 3: Experiment 3

5.3 Závěr plynoucí z experimentů

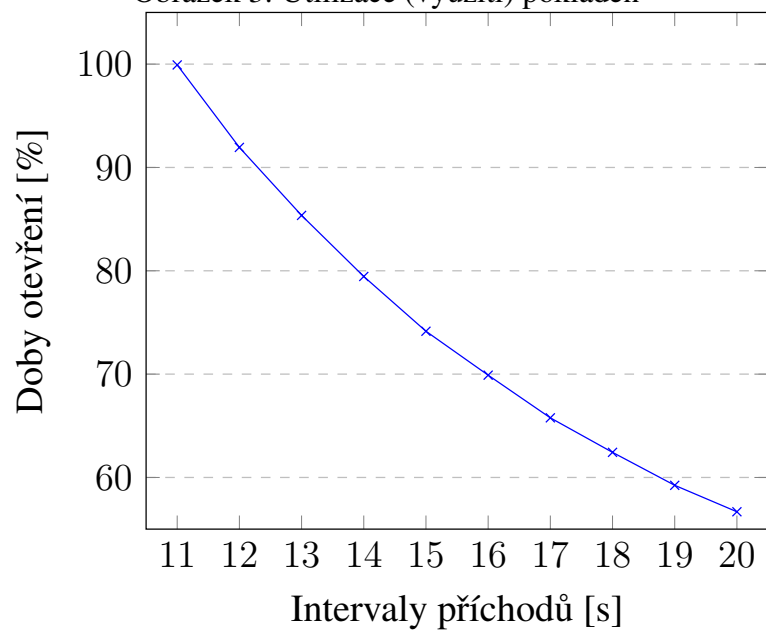
Celkem bylo provedeno 26 experimentů. Jedna část experimentů byla zaměřená na optimalizaci systému. Z těchto experimentů plyne, že čím nižší fronta pro otevření nové pokladny je, tím kratší dobu čeká zákazník ve frontě, takový přístup potom zapříčiní častější otevírání a zavírání pokladny, což není cílem. Ideální by bylo, aby byla pokladna v průměru otevřená 40 minut, znázorněno v grafu Frekvence přestávek. Další část experimentů byla zaměřená na vytížení pokladen, znázorněno v grafu Utilizace (využití) pokladen. Tady by se reálné hodnoty ve špičce měly držet mezi 70-80%. Výsledky experimentů jsou v souborech exp[1-9].out, které jsou vytvořeny spuštěním příkazu make run.

6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

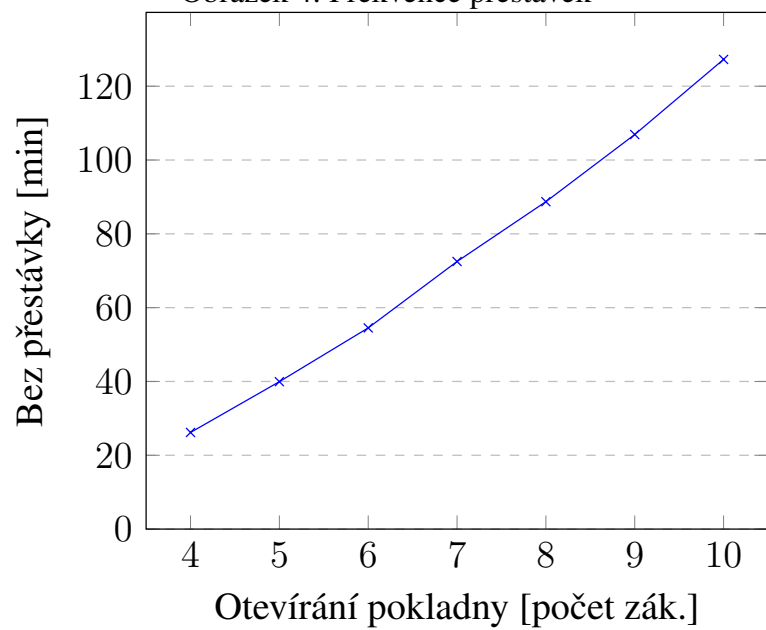
V závěru bychom rádi ukázali výsledky našich měření formou grafů. Podle prvního z nich se může majitel supermarketu rozhodnout, zda-li nezvýšit počet pokladen a zařídit tak, aby se v době špičky netvořila dlouhá fronta a lidé nepřestali do obchodu chodit. Podle druhého grafu může vedoucí obchodu dát instrukce prodavačkám, aby poklady otevíraly při určitém množství zákazníků v ostatních frontách. To může být užitečné při plánování přestávek, výměně směn a rovnoměrného rozložení zátěže mezi prodavačky.

Vzhledem k tomu, že lze porovnat naměřené výsledky a numerickou aproximaci chování modelu s naším simulačním programem, můžeme tvrdit, že model je validní.

Obrázek 3: Utilizace (využití) pokladen



Obrázek 4: Frekvence přestávek



Reference

- [1] J. Goodman: *Who Does the Grocery Shopping, and When Do They Do It?*. (říjen 2008).
<http://timeuseinstitute.org/Grocery%20White%20Paper%202008.pdf>
- [2] P. Peringer: *SIMLIB homepage*. (prosinec 2016).
<http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>
- [3] P. Peringer: *Slajdy k předmětu Modelování a simulace*. (září 2016).
<https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [4] M. Hruby: *Democvičení 1 k předmětu Modelování a simulace*. (září 2016).
<http://perchta.fit.vutbr.cz/vyuka-ims/uploads/1/ims-demo1.pdf>
- [5] M. Hruby: *Democvičení 2 k předmětu Modelování a simulace*. (září 2016).
<http://perchta.fit.vutbr.cz/vyuka-ims/uploads/1/diskr2-2011.pdf>