

MODELING A MASS SERVICE SYSTEM FOR COVID-19 VACCINES

Petya Stoyanova

“Todor Kableshkov” University of Transport, Bulgaria, petia_8@abv.bg

Abstract: This report presents a simulation model of a multi-channel mass service (MSS) system using the GPSS World computer simulation system. The model is presented for an 8-hour working day of service staff in a hospital during the administration of vaccines against COVID-19. Three seats are placed for patients waiting for service, taking into account the fact that if all the seats are occupied when the next patient arrives, he will be refused entry to the hospital (system). The flow of patients (service requests) is Poisson. Patient service times are exponentially distributed. Input data are provided for the values of the mean time interval between the arrival of patients at the entrance of the hospital or system and the mean time of their service. The implementation of the model has been carried out when the system operates with two serving devices (medical staff), with three seats available. In cases where the operation of the system with two medical personnel is modeled, it is assumed that the average service times are equal in value. Model time is in minutes, with 1 unit of model time equal to 1 minute. As a result, it is determined: the number of patients served; the number of patients denied service; the workload of medical personnel (the service unit); the average time to service patients for the administration of vaccines against COVID-19.

Keywords: mass service system simulation, GPSS models, COVID-19

МОДЕЛИРАНЕ НА СИСТЕМА ЗА МАСОВО ОБСЛУЖВАНЕ ПРИ ПОСТАВЕНИ ВАКСИНИ СРЕЩУ COVID-19

Петя Стоянова

ВТУ „Тодор Каблешков“, България, petia_8@abv.bg

Резюме: В този доклад е представен имитационен модел на многоканална система за масово обслужване (СМО), чрез системата за компютърни симулации GPSS World. Моделът е представен за един 8 часов работен ден работа на обслужващия персонал в болница при поставянето на ваксини срещу COVID-19. Поставени са три седящи места за чакащите за обслужване пациенти, като се има предвид факта, че ако при пристигане на поредния пациент всички седящи места са заети, то същият получава отказ за влизане в болницата (системата). Потокът от пациенти (заявки за обслужване) е пуасонов. Времето за обслужване на пациенти е разпределено по експоненциален закон. Представени са входни данни за стойностите на средния интервал от време между пристигане на пациенти на входа на болницата или системата и средното време за тяхното обслужване. Извършена е реализация на модела при работа на системата с две на брой обслужващи устройства (персонал от медицински лица), при наличен капацитет три броя седящи места. В случаите, когато се моделира работата на системата с две медицински лица се приема, че средните времена за обслужване са равни по стойност. Моделното време е в минути, като 1 единица моделно време е равна на 1 минута. В резултат от което се определя: броят на обслужените пациенти; броят на пациентите, получили отказ от обслужване; натоварването на персонала от медицински лица (обслужващото устройство); средното време за обслужване на пациентите при поставяне на ваксини срещу COVID-19.

Ключови думи: симулация на системата за масово обслужване, GPSS модели, COVID-19

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Доклада е базиран от наблюдения на реален обект при поставянето на ваксини срещу COVID-19, в които се използва подход на имитационно моделиране на многоканална система за масово обслужване (СМО), чрез системата за компютърни симулации GPSS World, (Schriber, T., 1991). Прилагането на симулацията за анализ на поведението на процеса (входящи потоци на обслужване) позволява прилагането на показатели, които да подобрят текущия процес на работа на човешките ресурси (График за работа на екипите), (Marshall, et al., 2015), във връзка с дейността на ваксинационния пункт в болница УМБАЛ "Св. Анна" в град София. В пункта за ваксинация работят два кабинета всеки ден от седмицата, с работно време от 8:00 часа до 17:00 часа, с обедна почивка между 12:00 и 13:00 часа. В двата кабинета едновременно се поставят ваксини срещу COVID-19 от тип Pfizer, Moderna, Janssen и AstraZeneca, като целта е да се осигури адекватно обслужване на пациенти, които чакат на опашка да бъдат имунизирани от персонала (от медицински лица) в кабинет 1 и 2 (обслужващите устройства 1 и 2), намиращи се в болницата. Поставени са три седящи места за чакащите за

обслужване пациенти, като се има предвид факта, че ако при пристигане на поредния пациент всички седални места са заети, то същият получава отказ за влизане в болницата (системата). Потокът от пациенти (заявки за обслужване) е пуасонов. Представени са входни данни за стойностите на средния интервал от време между пристигане на пациенти на входа на болницата или системата и средното време за тяхното обслужване. Средния интервал от време между постъпване на заявките (пациентите) в системата (болницата) е 4 минути. Времето за обслужване на пациенти е разпределено по експоненциален закон. Средно време за обслужване на пациентите е 5 минути, в което се включва 2 минути за подготовка, 1 минута реализация (имунизация) и 2 минути след имунизационен период на изчакване в кабинета. Извършена е реализация на модела при работа на системата с две на брой обслужващи устройства (два кабинета с персонал от медицински лица), при наличен капацитет три броя седални места в чакалнята. В случаите, когато се моделира работата на системата с две медицински лица се приема, че средните времена за обслужване са равни по стойност. Моделното време е в минути, като 1 единица моделно време е равна на 1 минута.

2. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

Моделът, който е представен в доклада е за един 8 часов работен ден работа на обслужващия персонал в болница при поставянето на ваксини срещу COVID-19. Имитационния модел е на многоканална система за масово обслужване (СМО) с чакане и ограничена дължина на опашката - M/M/n/m. Моделът е реализиран чрез системата за компютърни симулации GPSS World, описана от (Schriber, T.; Brunner, D.; 2002), в разглеждания софтуер - (http://www.minutemansoftware.com/reference/reference_manual.htm), а (Zhang, C.; Grandits, T.; Härenstam, P.; Nauge, B.; Meijer, S., 2019) извършват систематизация на литературния обзор на симулационните модели. В труд (Томашевский В., Жданова Е., 2003) са представени основните системи за масово обслужване и тяхната роля и значение в ежедневието ни (например: всички чакаме на опашка за обслужване на гише в обществена сграда, на бензиностанция, в банката или в магазина и т.н.). В студията на (Карагъзов К., Ст., Димитров, 2014) се разглежда предимството и недостатъците на имитационното моделиране:

- Предимството се състои във възможността, чрез разработени имитационни модели, максимално близко да се изследва поведението на сложни системи до действието им в реални условия.
- Недостатъците от използването на такива имитационни модели се изразяват в няколко посоки:
 - моделите на реалните системи са уникални, сложни и често с много управляеми и неуправяеми параметри и зависят от конкретната конфигурация на мрежата от СМО;
 - при значителен брой управляеми параметри се затруднява анализа на тяхното взаимодействие, което налага модела да се изследва за няколко предварително набелязани сценарии.

Типичните системи за обслужване включват също медицински услуги, транспортни системи, летища, гари и други, както е приложено в трудовете на (Dimitrov, S., Ceder, A., (2018), (Dimitrov S., Ceder, A., Mathieson, G., and Victor, R., 2018), (Трендафилов З., 2018), (Borisov A, Velyova V., 2020).

3. ОСНОВНИ ОБОЗНАЧЕНИЯ (Карагъзов, К., 2014):

λ (бр/ед.вр) - интензивност на входящия поток;

μ (бр/ед.вр) - интензивност на обслужване ;

$\rho = \lambda / \mu$ - натоварване на СМО (използва се и определението работно натоварване)

$c = \lambda / (\mu \cdot S)$ - относителна заетост на СМО;

При едноканални системи при $S=1$, натоварването и относителната заетост на СМО съвпадат.

S - брой обслужващи устройства;

$E(Ls) = \bar{L}s$ - среден брой заявки в СМО;

$E(Lq) = \bar{L}q$ - среден брой заявки в опашката;

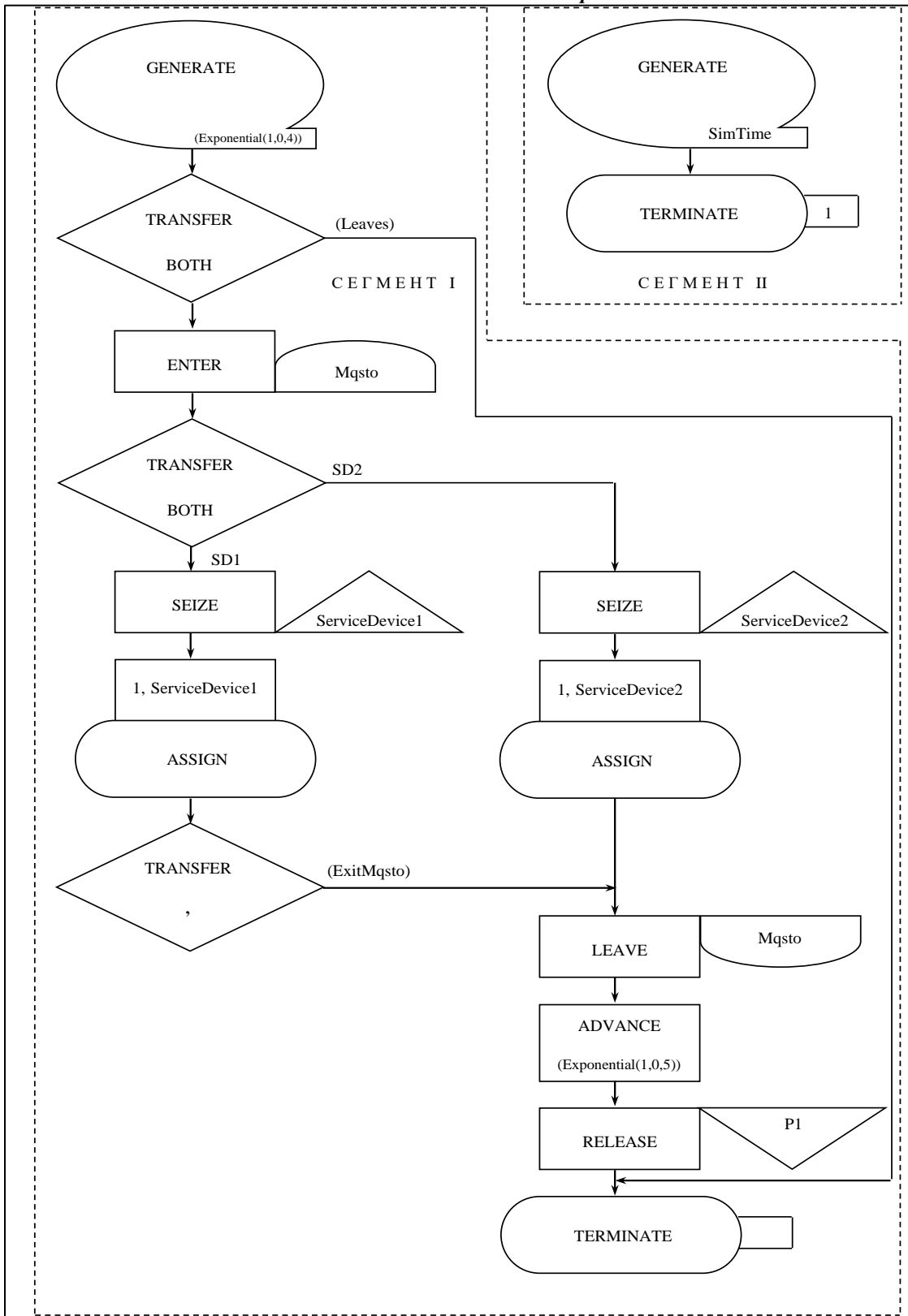
$E(W) = \bar{W}$ - средно време за чакане обслужване;

$E(Ts) = \bar{T}s$ - среден престой в системата (средно време за чакане плюс средно време за обслужване);

$E(t) = \bar{t} = \frac{1}{\mu}$ - средно време за обслужване на една заявка (транспортна единица);

На Фиг. 1 е представена структурната блок схема на моделиращия алгоритъм на GPSS модел - M/M/n/m на многоканална система за масово обслужване (СМО), с две обслужващи устройства и ограничена опашка от три седални места за чакане.

Фиг. 1 Блокова схема на GPSS модел на СМО с чакане и ограничена дължина на опашката



На Фиг. 2 е представен програмния код на модела, реализиран в GPSS World.

4. РЕЗУЛТАТИ

Получените резултати от направената симулация на модела са представени на Таблица 1, съдържаща стойностите на показателите за работа на СМО, получени при реализиране на трите сценария по брой седящи места в чакалнята.

Таблица 1 *Резултати от направената симулация за сценарии 1, 2 и 3*

Сценарий 1	FACILITY DELAY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER PEND	INTER	RETRY	DELAY		
1 брой седящи места в чакалнята	SERVICEDEVICE1	56	0.710	6.083	1	0	0	0	0		
	SERVICEDEVICE2	51	0.624	5.871	1	140	0	0	0		
	STORAGE	CAP. REM. MIN. MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C. UTIL.	RETRY	DELAY				
	MQSTO	1	1	0	1	107	1	0.246	0.246	0	0
Сценарий 2	FACILITY DELAY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER PEND	INTER	RETRY	DELAY		
2 брой седящи места в чакалнята	SERVICEDEVICE1	64	0.730	5.475	1	132	0	0	0		
	SERVICEDEVICE2	56	0.607	5.206	1	133	0	0	0		
	STORAGE	CAP. REM. MIN. MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C. UTIL.	RETRY	DELAY				
	MQSTO	2	2	0	2	120	1	0.426	0.213	0	0
Сценарий 3	FACILITY DELAY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER PEND	INTER	RETRY	DELAY		
3 брой седящи места в чакалнята	SERVICEDEVICE1	59	0.619	5.032	1	0	0	0	0		
	SERVICEDEVICE2	47	0.448	4.579	1	111	0	0	0		
	STORAGE	CAP. REM. MIN. MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C. UTIL.	RETRY	DELAY				
	MQSTO	3	3	0	3	106	1	0.343	0.114	0	0

Съставен е отчет с резултати от симулацията на построената Таблица 2, съдържаща стойностите на показателите за работа на СМО, получени при реализиране на трите сценария. При сценарий 2 се наблюдава най-много обслужени пациенти (120 души) и най-нисък % на необслужени пациенти, но натовареността е повече от два пъти по-висока между трите сценария.

Таблица 2 *Отчет с резултати от направената симулация*

Брой седящи места в чакалнята	Средно постъпване в чакалнята	Относителна заетост на едно място	Брой обслужени пациенти	Брой необслужени пациенти	Общо пациенти в системата	% на необслужените пациенти	Натоварване на ОУ	Ср. време за обслужване
1	0,246	0,246	56	1	107	0,009346	0	6,093
			51				140	5,871
2	0,426	0,213	64	1	120	0.0083	132	5,475
			56				133	5,206
3	0,343	0,114	59	1	106	0,00943	0	5,032
			47				111	4,579

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработеният модел илюстрира приложимостта за определяне на натовареността на системата и средното време за обслужване на пациентите при поставяне на ваксини срещу COVID-19 във вакцинационен пункт. Резултатите, получени от разработения имитационен модел при реализирането на трите сценария (по брой седящи места в чакалнята) дават представа за броя на обслужените пациенти, натоварването на персонала от медицински лица (обслужващото устройство) и средното време за обслужване на пациентите при

поставяне на ваксини срещу COVID-19, на базата на която е възможно да се структурират и разработят моделите необходими за следващ етап на оптимизация на системата. Възможно е да бъде:

- намалено времето за обслужване на пациентите, като се добави административен персонал в кабинетите и се увеличат броя седящи места в чакалнята, така че пациентите да бъдат подготвени за предстоящата манипулация;
- увеличаване на работното време на пункта, чрез увеличаване на персонала;
- реално входящия поток е нестационарен;
- времена за обслужване в различните кабинети не е еднакво, това е възможно да се постигне с приоритетно обслужване или на базата на друг показател;

ЛИТЕРАТУРА

- Карагъзов, К., „Приложение на теория на масовото обслужване на моделиране на работата на комплексни технологични системи“, Годишник на ВТУ „Тодор Каблешков“, ISSN 1314-362X, бр. 5, 2014 г., монография, <https://stg.vtu.bg/almanac-5-2014/>;
- Карагъзов, К. Ст., Димитров, С. Д., "Комплексен имитационен модел на отворени мрежи от системи за масово обслужване с произволна структура", Годишник на ВТУ „Тодор Каблешков“, ISSN 1314-362X, бр. 5, 2014 г., студия, https://www.vtu.bg/wp-content/uploads/2021/12/1_Studio_kompleksen-imitacionen-model_2014.pdf;
- Трендафилов З., Симулационен модел за анализ на адаптивното управление на светофарни уредби., сп. Механика транспорт комуникации, София том.16, бр.3/1,2018, ISSN 1312-3823 , 2018г.;
- Томашевский В., Жданова Е., Имитационное моделирование в среде GPSS. – М.:Бестселлер, 2003. – 416 с. ISBN 5-98158-004-6;
- Borisov A, Velyova V., (2020), Analysis of logistics chains, serviced by railway transport and approaches for technological design of processes, XIX Scientific-expert conference on railways RAILCON '20, Ms, Serbia, 2020, Proceedings XIX Scientific-expert conference on railways RAILCON '20, ISBN 978-86-6055-134-6, pp. 157-160;
- Dimitrov, S., and Ceder, A. (2018). Modelling and simulation of high-frequency autonomous public-transport service. International Scientific Journal "Mathematical Modeling", ISSN 2535-0986 (Print), ISSN 2603-2929 (Online), Vol. 2 (2018), Issue 2, 73-80, <http://stumejournals.com/journals/mm/2018/2/73>;
- Dimitrov S., Ceder, A., Mathieson, G., and Victor, R. (2018). An application of a network science tool for examining and analysing the structure and topological properties of public-transport networks: a case study. International Scientific Journal "Trans Motauto World", ISSN 2367-8399 (Print), ISSN 2534-8493 (Online), Vol. 3 (2018), Issue 2, 78-83, <http://stumejournals.com/journals/tm/2018/2/78>;
- Marshall, D.A.; Burgos-Liz, L.; Ijzerman, M.J.; Osgood, N.D.; Padula, W. V.; Higashi, M.K.; Wong, P.K.; Pasupathy, K.S.; Crown,W. (2015), Applying dynamic simulation modeling methods in health care delivery research—The SIMULATE checklist: Report of theISPOR simulation modeling emerging good practices task force. Value Heal. 2015, 18, 5–16, doi:10.1016/j.jval.2014.12.001., (PDF) Discrete-Event Simulation Modeling in Healthcare: A Comprehensive Review. Available from: https://www.researchgate.net/publication/356499771_DiscreteEvent_Simulation_Modeling_in_Healthcare_A_Comprehensive_Review [accessed Dec 02 2022].
- Schriber T., (1991), An introduction to simulation and GPSS. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Schriber, T.J.; Brunner, D.T. (2002), Inside Discrete-Event Simulation Software How it works and why it matters. In Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, San Diego, CA, USA, 8–11 December 2002; Yücesan, E., Chen C.H., Snowdon, J.L., CharnesJ.M., Eds.; Winter Simulation Conference: San Diego, CA, USA, pp. 32–58, (PDF) *Optimizing Emergency Medical Service Structures Using a Rule-Based Discrete Event Simulation—A Practitioner’s Point of View*. Available from: https://www.researchgate.net/publication/349893046_Optimizing_Emergency_Medical_Service_Structures_Using_a_Rule-Based_Discrete_Event_Simulation-A_Practitioner's_Point_of_View [accessed Dec 02 2022].
- <http://www.minutemansoftware.com/simulation.htm>;