



Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського”

Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра інформатики та програмної інженерії

Комп'ютерний практикум №3

Комп'ютерне моделювання дискретно-подійних систем

Виконав студент групи ІП-21: Плугатирьов Д.В.	Перевірив: Стеценко І.В.
	Дата:
	Оцінка:

Київ 2026

Завдання

1. Реалізувати універсальний алгоритм імітації моделі масового обслуговування з багатоканальним обслуговуванням, з вибором маршруту за пріоритетом або за заданою ймовірністю. **30 балів.**
2. Для наступного тексту задачі скласти формалізовану модель масового обслуговування та реалізувати її з використанням побудованого універсального алгоритму (**30 балів**):

У банку для автомобілістів є два віконця, кожне з яких обслуговується одним касиром і має окрему під'їзну смугу. Обидві смуги розташовані поруч. З попередніх спостережень відомо, що інтервали часу між прибуттям клієнтів у годину пік розподілені експоненційно з математичним очікуванням, рівним 0,5 од. часу. Через те, що банк буває переобтяжений тільки в годину пік, то аналізується тільки цей період. Тривалість обслуговування в обох касирів однаакова і розподілена експоненційно з математичним очікуванням, рівним 0,3 од. часу. Відомо також, що при рівній довжині черг, а також при відсутності черг, клієнти віддають перевагу першій смузі. В усіх інших випадках клієнти вибирають більш коротку чергу. Після того, як клієнт в'їхав у банк, він не може залишити його, доки не буде обслугований. Проте він може перемінити чергу, якщо стойть останнім і різниця в довжині черг при цьому складає не менше двох автомобілів. Через обмежене місце на кожній смузі може знаходитися не більш трьох автомобілів. У банку, таким чином, не може знаходитися більш восьми автомобілів, включаючи автомобілі двох клієнтів, що обслуговуються в поточний момент касиром. Якщо місце перед банком заповнено до границі, то

клієнт, що прибув, вважається втраченим, тому що він відразу ж виїжджає. Початкові умови такі: 1) обидва касири зайняті, тривалість обслуговування для кожного касира нормально розподілена з математичним очікуванням, рівним 1 од. часу, і середньоквадратичним відхиленням, рівним 0,3 од. часу; 2) прибуття першого клієнта заплановано на момент часу 0,1 од. часу; 3) у кожній черзі очікують по два автомобіля.

Визначити такі величини: 1) середнє завантаження кожного касира; 2) середнє число клієнтів у банку; 3) середній інтервал часу між від'їздами клієнтів від вікон; 4) середній час перебування клієнта в банку; 5) середнє число клієнтів у кожній черзі; 6) відсоток клієнтів, яким відмовлено в обслуговуванні; 7) число змін під'їзних смуг.

3. Для наступного тексту задачі скласти формалізовану модель масового обслуговування та реалізувати її з використанням побудованого універсального алгоритму (**40 балів**):

У лікарню поступають хворі таких трьох типів: 1) хворі, що пройшли попереднє обстеження і направлені на лікування; 2) хворі, що бажають потрапити в лікарню, але не пройшли повністю попереднє обстеження; 3) хворі, які тільки що поступили на попереднє обстеження. Чисельні характеристики типів хворих наведені в таблиці:

Таблиця 1

<i>Тип хворого</i>	<i>Відносна частота</i>	<i>Середній час реєстрації, хв</i>
1	0,5	15

Продовження таблиці 1

2	0,1	40
3	0,4	30

При надходженні в приймальне відділення хворий стає в чергу, якщо обидва чергових лікарі зайняті. Лікар, який звільнився, вибирає в першу чергу тих хворих, що вже пройшли попереднє обстеження. Після заповнення різноманітних форм у приймальне відділення хворі 1 типу ідуть прямо в палату, а хворі типів 2 і 3 направляються в лабораторію. Троє супровідних розводять хворих по палатах. Хворим не дозволяється направлятися в палату без супровідного. Якщо всі супровідні зайняті, хворі очікують їхнього звільнення в приймальному відділенні. Як тільки хворий доставлений у палату, він вважається таким, що завершив процес прийому до лікарні.

Хворі, що спрямовуються в лабораторію, не потребують супроводу. Після прибуття в лабораторію хворі стають у чергу в реєстратуру. Після реєстрації вони ідуть у кімнату очікування, де чекають виклику до одного з двох лаборантів. Після здачі аналізів хворі або повертаються в приймальне відділення (якщо їх приймають у лікарню), або залишають лікарню (якщо їм було призначено тільки попереднє обстеження). Після повернення в приймальне відділення хворий, що здав аналізи, розглядається як хворий типу 1.

У таблиці 2 приводяться дані по тривалості дій (хв):

Таблиця 2

Величина	Розподіл
----------	----------

Продовження таблиці 2

Час між прибуттями в приймальне відділення	Експоненціальний з математичним сподіванням 15
Час слідування в палату	Рівномірне від 3 до 8
Час слідування з приймального відділення в лабораторію або з лабораторії в приймальне відділення	Рівномірне від 2 до 5
Час обслуговування в реєстратуру лабораторії	Ерланга з математичним сподіванням 4,5 і $k=3$
Час проведення аналізу в лабораторії	Ерланга з математичним сподіванням 4 і $k=2$

Визначити час, проведений хворим у системі, тобто інтервал часу, починаючи з надходження і закінчуючи доставкою в палату (для хворих типу 1 і 2) або виходом із лабораторії (для хворих типу 3). Визначити також інтервал між прибуттями хворих у лабораторію.

Опис програмної реалізації

Архітектура програми охоплює кілька файлів, кожен з яких відповідає за свій блок:

- **Файл для опису базової логіки симуляції** (загальної структури модельних вузлів, алгоритму кроків і подій).
- **Файл для опису “сервісного” вузла** (багатоканальна черга, що приймає заявки і обслуговує їх).

- **Файл для маршрутизаторів**, де реалізовано вибір наступного вузла за певним правилом.
- **Файл із розподілами ймовірностей**, де розміщені різні функції (експоненційні, Ерланга тощо).
- **Файл для реєстрації та логування результатів** (вивід підсумкових таблиць та окремих метрик).

Основними об'єктами моделі є:

- **QueueingNode** або **Service Node**: вузол обслуговування з певною кількістю каналів;
- **Transition Node**: вузол перенаправлення заявок;
- **Factory Node**: генератор вхідного потоку (наприклад, автомобілі або пацієнти).

Кожен вузол знає свого “наступника” або кілька таких, а модель глобально керує часом, переходячи до найближчої події. У результаті формується динамічна картина того, як заявки входять у систему, чекають у чергах та покидають її, зберігаючи статистику.

Результати моделювання

Модель банку

Запуск сценарію run_bank_simulation.py при часі T=10000.

Model Metrics	
Metrics	
mean_event_intensity:	3.847
mean_time_in_system:	2.087
num_events:	38471
num_unblock_cycles:	0

Рисунок 1 – Метрики модели

Nodes Metrics	
Node	Metrics
1_incoming_cars	blocking_proba: 0.000 failure_proba: 0.000 mean_blocked_time: 0.000 mean_channels_load: 0 mean_in_interval: 0.000 mean_load_per_channel: mean_load_time: 0 mean_load_time_per_channel: mean_out_interval: 0.000 mean_queuelen: 0.000 mean_wait_time: 0.000 num_in: 0 num_out: 19865
2_first_vs_second	blocking_proba: 0.000 failure_proba: 0.000 mean_blocked_time: 0.000 mean_channels_load: 0 mean_in_interval: 0.000 mean_load_per_channel: mean_load_time: 0 mean_load_time_per_channel: mean_out_interval: 0.000 mean_queuelen: 0.000 mean_wait_time: 0.000 num_in: 19865 num_out: 19865
3_first_checkout	blocking_proba: 0.000 failure_proba: 0.099 mean_blocked_time: 0.000 mean_channels_load: 0.846 mean_in_interval: 0.787 mean_load_per_channel: 0: 0.846 mean_load_time: 0.739 mean_load_time_per_channel: 0: 0.739 mean_out_interval: 0.873 mean_queuelen: 1.186 mean_wait_time: 1.035 num_from_neighbor: 84 num_in: 12713 num_out: 11453
4_second_checkout	blocking_proba: 0.000 failure_proba: 0.000 mean_blocked_time: 0.000 mean_channels_load: 0.710 mean_in_interval: 1.398 mean_load_per_channel: 0: 0.710 mean_load_time: 0.993 mean_load_time_per_channel: 0: 0.993 mean_out_interval: 1.398 mean_queuelen: 0.988 mean_wait_time: 1.381 num_from_neighbor: 1355 num_in: 7152 num_out: 7153

Рисунок 2 – Метрики вузлів

Evaluation Reports	
Report	Result
mean_cars_in_bank	3.730
num_switched_checkout	1439
total_failure_proba	0.063

Рисунок 3 – Оціночні звіти

Отримані результати свідчать про те, що система перебуває у стані значного навантаження та працює в умовах «негативного зворотного зв'язку», про що сигналізує загальна ймовірність відмови на рівні **6,3%**. Найважливішим результатом є підтвердження правильності роботи динамічної логіки, оскільки середній час обслуговування на другій касі склав **0,993** секунди замість базових 0,3 секунди. Це доводить, що каса перейшла у «повільний» режим роботи через високу зайнятість сусідньої каси, яка була завантажена на **84,6%**. Перша каса виявилася головним вузьким місцем системи з ймовірністю відмови **9,9%**, тоді як друга каса працювала без відмов і активно допомагала розвантажувати чергу, перехопивши **1355** клієнтів у сусіда проти лише **84** у зворотний бік. У підсумку система потрапила в замкнене коло, де зайнятість одного касира змушує іншого працювати повільніше, що призводить до постійного накопичення черг і стабільної, але неефективної роботи з втратою клієнтів.

Модель лікарні

При запуску файлу `run_hospital_simulation.py` (час імітації 100000) отримано такі важливі показники:

Model Metrics	
Metrics	
mean_event_intensity:	0.292
mean_time_in_system:	251.354
mean_time_per_type:	
SickType.FIRST:	43.427
SickType.SECOND:	520.369
SickType.THIRD:	440.161
num_events:	29200
num_unblock_cycles:	0

Рисунок 4 – Метрики модели

Nodes Metrics	
Node	Metrics
1_sick_people	num_in: 0 num_out: 6781
2_at_emergency	blocking_proba: 0.000 failure_proba: 0.000 mean_blocked_time: 0.000 mean_channels_load: 1.859 mean_in_interval: 13.405 mean_load_per_channel: 0: 0.928 1: 0.931 mean_load_time: 24.936 mean_load_time_per_channel: 0: 12.449 1: 12.487 mean_out_interval: 13.411 mean_queuelen: 14.411 mean_wait_time: 193.283 num_in: 7460 num_out: 7456
3_chamber_vs_reception	num_in: 7456 num_out: 7456
4_to_chamber	blocking_proba: 0.000 failure_proba: 0.000 mean_blocked_time: 0.000 mean_channels_load: 0.222 mean_in_interval: 24.739 mean_load_per_channel: 0: 0.074 1: 0.074 2: 0.074 mean_load_time: 5.484 mean_load_time_per_channel: 0: 1.835 1: 1.827 2: 1.822 mean_out_interval: 24.738 mean_queuelen: 0.000 mean_wait_time: 0.008 num_in: 4041 num_out: 4041
5_to_reception	blocking_proba: 0.000 failure_proba: 0.000 mean_blocked_time: 0.000 mean_channels_load: 0.120 mean_in_interval: 29.284 mean_load_per_channel: 0: 0.031 1: 0.030 2: 0.030 3: 0.029 mean_load_time: 3.520 mean_load_time_per_channel: 0: 0.896 1: 0.890 2: 0.872 3: 0.862 mean_out_interval: 29.285 mean_queuelen: 0.000 mean_wait_time: 0.000 num_in: 3415 num_out: 3415

Рисунок 5 – Метрики вузлів. Частина 1

6_at_reception	blocking_proba: 0.000 failure_proba: 0.000 mean_blocked_time: 0.000 mean_channels_load: 0.155 mean_in_interval: 29.285 mean_load_per_channel: 0: 0.155 mean_load_time: 4.545 mean_load_time_per_channel: 0: 4.545 mean_out_interval: 29.284 mean_queueulen: 0.018 mean_wait_time: 0.531 num_in: 3415 num_out: 3414
7_on_testing	blocking_proba: 0.000 failure_proba: 0.000 mean_blocked_time: 0.000 mean_channels_load: 0.135 mean_in_interval: 29.284 mean_load_per_channel: 0: 0.068 1: 0.067 mean_load_time: 3.963 mean_load_time_per_channel: 0: 1.992 1: 1.972 mean_out_interval: 29.283 mean_queueulen: 0.000 mean_wait_time: 0.005 num_in: 3414 num_out: 3414
8_after_testing	num_in: 3414 num_out: 3414
9_from_lab_transit	blocking_proba: 0.000 failure_proba: 0.000 mean_blocked_time: 0.000 mean_channels_load: 0.024 mean_in_interval: 147.378 mean_load_per_channel: 0: 0.008 1: 0.008 2: 0.007 3: 0.002 mean_load_time: 3.528 mean_load_time_per_channel: 0: 1.141 1: 1.119 2: 1.044 3: 0.225 mean_out_interval: 147.378 mean_queueulen: 0.000 mean_wait_time: 0.000 num_in: 679 num_out: 679

Рисунок 6 – Метрики вузлів. Частина 2

Evaluation Reports	
Report	Result
Average Emergency Queue	14.411
Lab Arrival Interval	29.285
Mean Time In System	251.354

Рисунок 7 – Оціночні звіти

Результати моделювання демонструють стабільну, але незбалансовану роботу лікарні, де головним «вузыким місцем» є приймальне відділення. Чергові лікарі завантажені на **93%**, що спричиняє формування постійної черги з **14** осіб та середній час очікування огляду понад **три години (193 хв)**. Це критично впливає на загальну тривалість перебування пацієнтів у системі, яка в середньому сягає **251 хвилини**, причому найдовший шлях проходять хворі другого типу (**понад 8 годин** або **520 хв**) через необхідність повторного візиту до перевантаженого лікаря. Водночас інші підрозділи, зокрема лабораторія та служба супроводу, працюють із значним недовантаженням (менше 20%), що свідчить про неефективний розподіл ресурсів і необхідність підсилення саме вхідної ланки для скорочення черг.

Висновок

У ході лабораторної роботи було спроектовано та програмно реалізовано імітаційні моделі складних систем масового обслуговування з нелінійною логікою. На прикладі банківської системи досліджено вплив адаптивних алгоритмів, де доведено, що динамічна взаємозалежність між каналами обслуговування суттєво знижує стійкість системи при пікових

навантаженнях. Моделювання роботи лікарні дозволило виявити структурні вразливості складних маршрутів, зокрема критичний вплив зворотних потоків (циклів) на пропускну здатність вхідних вузлів. Отримані результати підтвердили ефективність об'єктно-орієнтованого підходу до симуляції для ідентифікації «вузьких місць» та прогнозування поведінки стохастичних систем.