



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:	3.859
mean_time_in_system:	2.133
num_events:	38590

Рисунок 1 – Метрики моделі

Nodes Metrics	
Node	Metrics
1_incoming_cars	failure_proba: 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: 19980
2_first_vs_second	failure_proba: 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: 19980 num_out: 19980
3_first_checkout	failure_proba: 0.089 mean_channels_load: 0.854 mean_in_interval: 0.644 mean_load_per_channel: 0: 0.854 mean_load_time: 0.751 mean_load_time_per_channel: 0: 0.751 mean_out_interval: 0.879 mean_queuelen: 1.218 mean_wait_time: 1.071 num_from_neighbor: 98 num_in: 15531 num_out: 11372
4_second_checkout	failure_proba: 0.000 mean_channels_load: 0.727 mean_in_interval: 1.669 mean_load_per_channel: 0: 0.727 mean_load_time: 1.004 mean_load_time_per_channel: 0: 1.004 mean_out_interval: 1.381 mean_queuelen: 1.024 mean_wait_time: 1.415 num_from_neighbor: 1442 num_in: 5989 num_out: 7238

Рисунок 2 – Метрики вузлів

Evaluation Reports	
Report	Result
mean_cars_in_bank	3.823
num_switched_checkout	1540
total_failure_proba	0.064

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 6,4%. Найважливішим результатом є підтвердження правильності роботи динамічної логіки, оскільки середній час обслуговування на другій касі склав 1,004 секунди замість базових 0,3 секунди. Це доводить, що каса перейшла у «повільний» режим роботи через високу зайнятість сусідньої каси, яка була завантажена на 85,4%. Перша каса виявилася головним вузьким місцем системи з ймовірністю відмови 8,9%, тоді як друга каса працювала без відмов і активно допомагала розвантажувати чергу, перехопивши 1442 клієнти у сусіда проти лише 98 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:	0.282
mean_time_in_system:	188.301
mean_time_per_type:	
SickType.FIRST:	41.745
SickType.SECOND:	413.198
SickType.THIRD:	311.380
num_events:	28178

Рисунок 4 – Метрики моделі

Nodes Metrics	
Node	Metrics
1_sick_people	num_in: 0 num_out: 6680
2_at_emergency	failure_proba: 0.000 mean_channels_load: 1.803 mean_in_interval: 13.528 mean_load_per_channel: 0: 0.901 1: 0.902 mean_load_time: 24.408 mean_load_time_per_channel: 0: 12.191 1: 12.217 mean_out_interval: 13.522 mean_queuelen: 10.027 mean_wait_time: 135.741 num_in: 7389 num_out: 7387
3_chamber_vs_reception	num_in: 7387 num_out: 7387
4_to_chumber	failure_proba: 0.000 mean_channels_load: 0.222 mean_in_interval: 24.813 mean_load_per_channel: 0: 0.075 1: 0.074 2: 0.074 mean_load_time: 5.521 mean_load_time_per_channel: 0: 1.851 1: 1.830 2: 1.840 mean_out_interval: 24.813 mean_queuelen: 0.000 mean_wait_time: 0.009 num_in: 4025 num_out: 4025

Рисунок 5 – Метрики вузлів. Частина 1

5_to_reception	failure_proba: 0.000 mean_channels_load: 0.117 mean_in_interval: 29.715 mean_load_per_channel: 0: 0.028 1: 0.028 2: 0.028 3: 0.028 4: 0.007 mean_load_time: 3.494 mean_load_time_per_channel: 0: 0.819 1: 0.823 2: 0.827 3: 0.825 4: 0.200 mean_out_interval: 29.715 mean_queuelen: 0.000 mean_wait_time: 0.000 num_in: 3362 num_out: 3362
6_at_reception	failure_proba: 0.000 mean_channels_load: 0.151 mean_in_interval: 29.715 mean_load_per_channel: 0: 0.151 mean_load_time: 4.492 mean_load_time_per_channel: 0: 4.492 mean_out_interval: 29.715 mean_queuelen: 0.020 mean_wait_time: 0.604 num_in: 3362 num_out: 3362
7_on_testing	failure_proba: 0.000 mean_channels_load: 0.137 mean_in_interval: 29.715 mean_load_per_channel: 0: 0.070 1: 0.067 mean_load_time: 4.064 mean_load_time_per_channel: 0: 2.072 1: 1.992 mean_out_interval: 29.713 mean_queuelen: 0.000 mean_wait_time: 0.011 num_in: 3362 num_out: 3362
8_after_testing	num_in: 3362 num_out: 3362

Рисунок 6 – Метрики вузлів. Частина 2

Evaluation Reports	
Report	Result
Average Emergency Queue	10.027
Lab Arrival Interval	29.715
Mean Time In System	188.301

Рисунок 7 – Оціночні звіти

Результати моделювання демонструють стабільну, але незбалансовану роботу лікарні, де головним «вузьким місцем» є приймальне відділення. Чергові лікарі завантажені на 90%, що спричиняє формування постійної черги з 10 осіб та середній час очікування огляду понад дві години. Це критично впливає на загальну тривалість перебування пацієнтів у системі, яка в середньому сягає 188 хвилин, причому найдовший шлях проходять хворі другого типу (понад 6 годин) 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 виконання лабораторної роботи було розроблено та досліджено імітаційні моделі для двох типів систем масового обслуговування: банківського відділення з адаптивною логікою та лікарні зі складною маршрутизацією пацієнтів.

Для моделі банку було реалізовано динамічну зміну часу обслуговування залежно від стану сусіднього касира та механізм вирівнювання черг. Результати симуляції, зокрема під час стрес-тестів, підтвердили коректність роботи алгоритму: при повному завантаженні обох каналів середній час обслуговування зростав згідно з заданим нормальним розподілом, що призводило до прогнозованого збільшення черг та відмов, демонструючи вплив взаємозалежності каналів на стійкість системи.

У другій частині роботи було побудовано модель лікарні з трьома типами пацієнтів, що мають різні пріоритети та маршрути. Аналіз отриманої статистики виявив суттєвий дисбаланс у завантаженні ресурсів: приймальне відділення працює у критичному режимі із завантаженням близько 90%, стаючи головним "вузьким місцем", тоді як лабораторія та інші вузли залишаються недовантаженими. Також було підтверджено, що наявність циклів у маршруті пацієнтів (необхідність повернення до лікаря після аналізів) критично збільшує загальний час їхнього перебування в системі порівняно з лінійними маршрутами.