

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ

УДК 004.02, 004.62

Застосування методів статистичного аналізу для вибору виконавця задачі у розподіленій обчислювальній системі

Роман Віталійович Слободян

аспірант,

кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

Вінницький національний технічний університет

21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95

ORCID 0009-0005-9834-9802

Ілона Віталіївна Богач

к.т.н., доцент,

доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

Вінницький національний технічний університет

21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95

ORCID 0000-0001-9398-8529

Марія Володимирівна Барабан

к.т.н., доцент,

доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

Вінницький національний технічний університет

21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95

ORCID 0000-0002-6745-351X

Анотація. Робота присвячена оптимізації процесу розподілу завдань у розподілених обчислювальних системах. За допомогою застосування методів статистичного аналізу розроблено підхід до автоматизації вибору виконавців, що дозволяє підвищити ефективність розподілу завдань, покращити щоденну продуктивність та задоволеність працівників. Дослідження показує, що використання оптимізованого підходу дозволило зменшити середню тривалість обробки звернень користувачів обраного типу з 34 до 31 хвилини, що на 7% ефективніше порівняно з випадковим розподілом задач, тим самим покращуючи якість обслуговування та продуктивність.

Запропонована уніфікована модель для оптимізованого розподілу завдань враховує такі ключові аспекти, як профілі внутрішніх користувачів, рівень їх навантаження, пріоритетність задач, взаємодію між виконавцями та інші доступні ресурси системи. Ця модель забезпечує баланс між компетентністю працівників та швидкістю обробки завдань, що суттєво підвищує продуктивність всієї системи.

Особливу увагу приділено авторській методології, побудованій на основі інструментів Salesforce CRM, яка дозволяє ефективно використовувати історичні дані щодо продуктивності працівників для визначення найбільш підходящих виконавців. У поєднанні зі статистичними методами аналізу великих обсягів даних цей підхід сприяє не лише оптимізації розподілу завдань, але й прогнозуванню часу їх виконання, виявленню аномалій у процесах та розробці гнучких стратегій розподілу. Врахування компетенцій та продуктивності працівників сприяє високій якості виконання завдань, скороченню часу обробки та зниженню навантаження, що критично важливо для ефективної роботи розподілених систем.

Загалом, запропоноване дослідження підтверджує, що застосування статистичного аналізу та інструментів CRM сприяє підвищенню ефективності роботи розподілених обчислювальних систем. Це відкриває перспективи для впровадження оптимізованих стратегій розподілу задач у різних галузях, враховуючи постійний ріст обсягу даних та складність бізнес-процесів.

Ключові слова: розподіл завдань, оптимізація, обчислювальні системи, статистичний аналіз, профілі користувачів, пріоритизація.

Statistical analysis methods application for a task distributor selection in a distributed computing system

Roman V. Slobodian

Postgraduate student of automation and intelligent information technologies department
Vinnytsia National Technical University
95 Khmelnytske shose, Vinnytsia, Ukraine, 21021
ORCID 0009-0005-9834-9802

Ilova V. Bogach

PhD, associate professor of automation and intelligent information technologies department
Vinnytsia National Technical University
95 Khmelnytske shose, Vinnytsia, Ukraine, 21021
ORCID 0000-0001-9398-8529

Maria V. Baraban

PhD, associate professor of automation and intelligent information technologies department
Vinnytsia National Technical University
95 Khmelnytske shose, Vinnytsia, Ukraine, 21021
ORCID 0000-0002-6745-351X

Abstract. This paper focuses on optimizing the task distribution process in distributed computing systems. By applying statistical analysis methods, a strategy has been developed to automate the selection of task performers, improving the efficiency of task distribution, daily productivity, and employee satisfaction. The research shows that the optimized approach reduced the average processing time for specific user requests from 34 to 31 minutes, which is 7% more effective compared to random task allocation, thereby enhancing service quality and overall productivity.

The proposed unified model for optimized task distribution considers key factors such as internal user profiles, their workload levels, task priority, interaction among performers, and other available system resources. This model balances employee competencies with the speed of task processing, significantly improving the system's overall performance.

Particular attention is given to the methodology based on Salesforce CRM tools, which allows for the effective use of historical data on employee performance to identify the most suitable task performers. Combined with statistical data analysis methods, this approach not only optimizes task distribution but also enables accurate time prediction for task completion, identification of process anomalies, and the development of flexible distribution strategies. Considering both competencies and productivity ensures high-quality task execution, reduces processing time, and minimizes workload, which is critical for the efficient operation of distributed systems.

In overall, the proposed study confirms that the use of statistical analysis and CRM tools enhances the efficiency of distributed computing systems. This opens opportunities for the implementation of

optimized task distribution strategies across various sectors, especially in the context of the growing volume of data and the complexity of business processes.

Key words: task distribution, optimization, computing systems, statistical analysis, user profiles, prioritization.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2024-60-2-122-133>

Вступ. З кожним днем рівень складності повсякденних завдань, що постають перед працівниками у сучасних компаніях продовжує зростати. Це зумовлено збільшенням обсягів даних, еволюцією технологій та ускладненням бізнес-процесів. За таких умов вирішення завдань вимагає не лише розуміння домену проблеми чи певних технічних знань, але й стратегічного підходу.

Перш ніж приступати до виконання завдання, критично важливо впевнитись, що працівник має всі необхідні вхідні дані. Це включає чіткий опис задачі, поточний стан системи, очікуваний результат, а також розуміння можливого впливу на інші процеси. Недостатність, нечіткість або недостовірність цієї інформації може стати причиною затримок, помилок та додаткових витрат ресурсів.

Через зростання складності завдань, усе частіше трапляються ситуації, коли їх важко або ж взагалі неможливо вирішити самостійно. У таких випадках наступним кроком є визначення необхідних ресурсів для успішного виконання завдання. Це можуть бути як індивідуальні фахівці, так і групи працівників, окремі відділи компанії або навіть сторонні вендори, якщо внутрішніх знань та навичок недостатньо.

Зважаючи на вище згадані виклики, зростає потреба у автоматизованих рішеннях для розподілу завдань. Тут на допомогу приходять методи статистичного аналізу, які дозволяють оптимізувати цей процес.

Використання методів статистичного аналізу спрощує вибір виконавців, адже дозволяє автоматично оцінювати продуктивність, завантаженість і швидкодію працівників, ефективно розподіляючи завдання для оптимального використання ресурсів. Крім того, такі підходи допомагають прогнозувати час виконання, виявляти можливі аномалії та формувати стратегії розподілу, що враховують різноманітні фактори, таким чином підвищуючи швидкість і якість виконання, знижуючи витрати, та покращуючи конкурентоспроможність компанії в умовах сучасного ринку.

Огляд літератури. Проблема постійного росту рівня складності повсякденних задач турбує дослідників з декількох причин.

По-перше, у міру того, як завдання стають складнішими, працівники компаній все частіше стикаються з необхідністю освоювати нові навички, адаптуватися до нових інструментів та методик. Зазвичай це призводить до росту витрат часу необхідного для виконання завдань, а іноді і до зниження якості роботи та навіть підвищення стресу. Дослідження (Trautmann et al., 2011) доводить те, що невідповідність між компетенціями працівників і вимогами завдань призводить до низької продуктивності та задоволення роботою, що є серйозним викликом для компаній.

По-друге, зі збільшенням складності завдань також збільшується і об'єм роботи, що необхідно виконати, а разом з ним і ймовірність помилок, що так чи інакше необхідно виправити. Така ситуація не тільки підвищує навантаження на працівників, а й за часту призводить до негативних ітерацій у циклі вирішення задач – коли компанії витрачають більше ресурсів на вирішення проблем чи їх наслідків, ніж на їх попередження (Trautmann et al., 2011; Zhang, 2023).

По-третє, із розвитком обчислювальних систем з'являється необхідність постійного навчання працівників та оптимізації робочих процесів (Dery & Sebastian, 2017). Також,

необхідно зауважити, що деякі зміни можуть негативно вплинути на мотивацію працівників та їх здатність ефективно виконувати призначені завдання, тому вносити їх потрібно зважено, а негативні наслідки пом'якшувати шляхом впровадження процесу підтримки внутрішніх користувачів.

І нарешті, зі зростанням складності завдань, працівники компаній можуть відчувати все більший стрес та напруження, що безпосередньо впливає на їх рівень задоволення поточною посадою та на їх ефективність протягом тривалого часу (Dery & Sebastian, 2017). Цей аспект є важливим адже без ефективних та зручних у використанні рішень зростає ймовірність вигорання та втрати кваліфікованих працівників.

Перелічені вище фактори змушують як роботодавців так і дослідників шукати нові підходи для організації та оптимізації робочих процесів, інвестувати в навчання персоналу, розробляти та впроваджувати автоматизовані рішення для заощадження часу працівників, підвищення якості згенерованих рішень, тощо.

Проблема параметризації задач перед подальшим пошуком їх рішень привертає увагу науковців з кількох ключових причин.

По-перше, вона сприяє ефективному розв'язанню складних завдань, дозволяючи структурувати їх у вигляді моделей та оптимізувати процес виконання. Це особливо важливо в системах з великою кількістю обчислень та великим обсягом даних.

По-друге, параметризація є ключовим елементом у розробці систем автоматизації, які розподіляють завдання між виконавцями з метою оптимізації використання ресурсів та підвищення продуктивності. Це дозволяє підвищити точність та надійність результатів, а також досліджувати нові методи й моделі для вирішення різноманітних завдань.

Наприклад, у роботі (Huang et al., 2023) стверджується, що параметризація задач є важливою у контексті генерації траєкторій для роботів у робото-технічній галузі. Основна мета полягає в досягненні стабільності, надійності та продуктивності у виконанні завдань маніпуляції. Проблеми, які часто виникають у плануванні часово-оптимальних траєкторій, включають неоднорідність швидкості та прискорення, похибки у з'єднаннях, вібрації роботів та пошкодження двигунів. Вирішення цих проблем включає увагу до такого параметру, як розрив, що є похідною за часом прискорення. Однак нелінійні та неконвексні особливості обмежень на розрив ускладнюють оптимізацію траєкторій, що вимагає значних обчислювальних витрат.

У роботі (Xie et al., 2023) стверджується, що параметризація повсякденної для водіїв задачі щодо визначення полос руху на дорозі має вирішальне значення у випадку, якщо транспортний засіб керується за допомогою штучного інтелекту. У мережах інтелектуальних транспортних систем це дозволяє виявляти та контролювати рух транспортних засобів для забезпечення безпеки на дорозі. Параметризація є ключовим елементом алгоритмів виявлення полос руху. Такі алгоритми можуть базуватися на традиційних методах обробки зображень або на глибокому навчанні.

У дослідженні (Shi et al., 2023) йде мова про необхідність параметризації у задачах сегментації екземплярів, семантичної сегментації, оцінки монокулярної глибини, оцінки пози людини та відповідності форми.

У статті (Li et al., 2023) стверджується, що параметризація задач необхідна для адаптації роботів до змін у сцені в умовах неструктурованого середовища. У статті розглядається метод навчання за демонстрацією, який поєднує динамічні моделі руху та параметризоване завдання з метою покращення загальної продуктивності та розв'язання завдань маніпулювання об'єктами. Введення параметрів завдання дозволяє роботу навчитися більше локальних геометричних особливостей та узагальнити навчальну модель для невідомих ситуацій, забезпечуючи кращу адаптацію до змін в навколишньому середовищі.

У роботі (Mahmood et al., 2023) підкреслюється твердження про те, що параметризація задач є необхідною для вивчення складності обчислень в контексті вирішення проблеми в

штучному інтелекті. Розглядаються різні підходи та проблеми рішення, але основна увага приділяється параметризованій складності, яка визначається через параметризацію проблеми, що є важливою для практичного використання та має велику важливість для здійснення рішень у контексті ефективності за умови постійного або повільного зростання параметрів.

У доповіді (Perez-Villeda et al., 2023) йде мова про те, що параметризація задач є необхідною для досягнення підтримки правильної траєкторії руху та її адаптації до різних умов виконання завдань. Також наводиться приклад того, як використання параметризації дозволяє роботу адаптуватися до різних умов, що може бути важливо для успішної роботи в різних сценаріях. Наприклад, розмір посудини, куди робот наливає рідину, або її об'єм є важливими досягнення певного рівня наповнення. Такий підхід допомагає уникнути проблем з виконанням завдань поза областю даних для навчання, допомагаючи роботу досягти більш широкої генералізації та адаптивності при виконанні завдань.

У праці (Fu et al., 2023) йде мова про те, що параметризація задач є необхідною для досягнення більш гнучкої, універсальної поведінки виконавця задачі в різних сценаріях. У тексті зазначено, що off-policy meta-RL методи успішно узагальнюються в середовищах, де відмінності між завданнями можуть бути описані одним вектором (наприклад, зміни у швидкості цілі). Однак для завдань із більш різноманітними варіаціями (наприклад, тягнути кружку, натиснути кнопку, відкрити двері тощо) вище згадані методи показують гіршу універсальність порівняно з on-policy методами та методами на основі файн-тюнінгу. Параметризовані навички, які розширюють дискретні навички за допомогою неперервних параметрів, стають більш універсальними і придатними до використання для вирішення схожих проблем, оскільки їх можна легко адаптувати до різних ситуацій.

У статті (Gao et al., 2023) стверджується, що параметризація задач є важливою для поліпшення здатності невеликих попередньо навчених моделей до універсального застосування, а використання матричних методів декомпозиції дозволяє збільшити кількість параметрів під час подальшої підгонки. Це створює можливість розширення потенційно важливих параметрів моделі, поліпшуючи її здатність узагальнення.

У доповіді (Celber, 2023) розглядається необхідність використання параметризації задач для автоматичного створення організаційних структур систем шляхом оцінки поставлених цілей та доступності агентів-виконавців. Це дозволяє генерувати організаційні позиції та структури, що відображають вимоги до ресурсів та можливості їх заповнення агентами. Використання параметрів, таких як цілі та наявність агентів, допомагає автоматизувати процес створення організацій, роблячи його більш ефективним та гнучким.

Виходячи зі сказаного вище стає зрозуміло, що проблема параметризації задач для вибору виконавця існує у різних сферах науки та техніки, від робототехнічних галузей до штучного інтелекту, а її важливість важко переоцінити, оскільки правильно параметризована задача значно спрощує процеси пошуку можливих рішень.

Матеріали та методи. Мета дослідження полягає в розробці алгоритму розподілу завдань між виконавцями у розподілених обчислювальних системах. Автори докладно аналізують методи та моделі для вибору виконавців, використовуючи статистичний аналіз та методологію, засновану на Salesforce CRM. Основним завданням є зменшення часу обробки завдань, підвищення ефективності, якості та ефективного використання ресурсів у системах масового обслуговування. Зазначається важливість розробки уніфікованої моделі, що враховує ключові фактори, що можуть впливати на розподіл задач у тих чи інших системах масового обслуговування, а саме: варіативність профілів клієнтів; різні навички та завантаженість агентів; наявність інструментів, необхідних для швидкого підлаштування процесу під поточні задачі задля забезпечення їх оптимального та ефективного розподілу у реальному часі.

Задачі дослідження:

1. Розробка уніфікованої моделі розподілу завдань шляхом врахування характеристик задач та виконавців. Завданням цього етапу є створення комплексної моделі, яка інтегруватиме аналіз характеристик завдань (складність, терміновість, пріоритетність) та компетенції виконавців (досвід, навички, поточне завантаження). Така модель повинна враховувати не лише технічні параметри завдання, а й можливість його успішного виконання конкретними фахівцями або командами. Мета полягає в тому, щоб забезпечити баланс між навантаженням виконавців та якістю виконання завдань.

2. Застосування методів оптимізації для покращення ефективності та зменшення часу обробки завдань. На цьому етапі передбачається впровадження методів оптимізації, таких як лінійне програмування, евристичні алгоритми та методи штучного інтелекту. Оптимізація полягатиме в тому, щоб знизити затримки у виконанні завдань, використовуючи передові математичні та алгоритмічні підходи для розподілу задач між виконавцями. У результаті це зменшить витрати на виконання завдань, збільшуючи продуктивність та економічну ефективність компанії.

3. Використання статистичного аналізу для вибору виконавців. Цей етап є результатом виконання попереднього та пропонує використання статистичного аналізу для автоматизовано вибору виконавців задачі шляхом аналізу їх продуктивності на основі результатів виконання схожих завдань у минулому. Аналіз включає оцінку швидкості, точності, досвіду, а також завантаженості працівників. Використання цих даних дозволить забезпечити найбільш ефективний розподіл завдань, уникаючи перевантаження виконавців, таким чином запобігаючи можливому вигоранню, а також підвищує якість отриманих результатів.

4. Оцінка ефективності розподільчої системи. Цей етап полягає у оцінці ефективності системи шляхом аналізу ключових показників продуктивності, таких як час виконання завдань, кількість помилок та задоволеність клієнтів. Збір і аналіз цих даних дозволять виявити проблемні аспекти системи та підвищити її продуктивність. Також, оцінка допоможе визначити, чи реалізована система відповідає очікуванням і чи є необхідність у її подальшому вдосконаленні.

5. Вивчення динаміки змін у системі. Оскільки системи можуть змінюватися з плином часу або ж під впливом нових технологій або ж через збільшення обсягу завдань, важливо дослідити, як ці зміни впливатимуть на загальну продуктивність працівників компанії. Динаміка змін дозволить виявити, наскільки система адаптивна до нових викликів, таких як зміни у навантаженні, поведінці або ж зміни навантаження через збільшення об'єму роботи, котрий необхідно виконати кожному окремо взятому агенту.

6. Аналіз взаємозв'язку факторів, таких як навички, обмеження та інші, на продуктивність працівників у розподільчій системі. Вивчення впливу різних факторів на продуктивність виконавців є важливим етапом, оскільки на ньому відбувається аналіз таких аспектів, як рівень професійних навичок, доступність ресурсів, обмеження за часом та робочий графік. Виконання цього дослідження дозволить визначити, які чинники найбільш впливають на продуктивність і як вони можуть бути враховані в розподільчій системі для досягнення найбільш оптимальних результатів.

7. Розробка стратегій оптимального використання людських та технічних ресурсів для максимізації продуктивності та забезпечення оптимального розподілу завдань. На думку авторів, стратегії повинні бути спрямовані на максимізацію продуктивності компанії за рахунок ефективного використання як людських, так і технічних ресурсів. Це включає збалансований розподіл завдань, автоматизацію рутинних процесів та використання передових технологій для забезпечення гнучкості та швидкості виконання. Таким чином, ці стратегії допоможуть мінімізувати втрати часу та ресурсів, зменшити рівень стресу працівників, та підвищивши загальну ефективність роботи компанії у довготривалій перспективі.

Результати та Обговорення. Застосування методів статистичного аналізу дозволяють вирішити проблему вибору найбільш підходящого виконавця задачі у розподілених обчислювальних системах адже, враховуючи невпинно зростаючу складність обчислень, пошук кандидата для виконання завдання вимагає не лише технічних, а й стратегічних рішень.

У статті розкривається аналіз результатів експериментів та пропонується методологія вибору, покликана оптимізувати процес пошуку виконавця задачі у системі масового обслуговування (Amaral et al., 2023). на базі Salesforce CRM базуючись на кореляції даних про власне задачі, що були вирішені, та даних, що відображають продуктивність та доступність працівників.

Ретроперспективний статистичний аналіз інформації про виконані завдання є корисним інструментом для:

1. Оцінка ефективності, виявлення трендів і аналіз варіативностей. Статистичний аналіз допомагає виявити зміни в продуктивності з часом, що дозволяє приймати більш обґрунтовані управлінські рішення. За його допомогою можна аналізувати історичні дані для відстеження прогресу або проблем у виконанні завдань, що допомагає виявити ключові тренди, такі як стабільність процесів або повторювані помилки (Pham & Yang, 2023; Wang & Lin, 2023; Lee, & Kim, 2023). Це також надає можливість оцінити, які методи управління чи підходи найкраще працюють у певних умовах, що підтверджено в дослідженнях процесуального контролю та управління якістю.

2. Визначення підпроцесів, що тривають найдовше для їх подальшого покращення. Аналізуючи зібрані дані можна виявити етапи роботи, які споживають найбільше часу, що є основою для подальшого їх удосконалення. Це дає можливість виявити «вузькі місця» в процесі і визначити, які саме підпроцеси слід оптимізувати. Дослідження (Gupta & Bharti, 2020; Michaud; Ivanisenko & Radivilova, 2015) показали, що визначення тривалих підпроцесів є ключовим для зниження затримок та підвищення продуктивності в багатьох галузях.

3. Оптимізації розподілу завдань, надання додаткової підтримки найменш ефективним виконавцям або вдосконалення процесів роботи. Використання ретроспективного аналізу дає змогу не лише оцінити ефективність виконавців, але й допомогти тим, хто має труднощі з виконанням завдань. Це дозволяє керівникам вжити заходів щодо покращення навичок цих виконавців, що в свою чергу підвищує загальну ефективність. Такий підхід сприяє більш точному і ефективному розподілу ресурсів, а також підтримці працівників, які мають труднощі (Pham & Yang, 2023; Ivanisenko & Radivilova, 2015; Hu, Wu & Dong, 2023).

4. Розуміння потреб у ресурсах та часі, що мають бути вирішені для розв'язання різних видів завдань, а ретроспективний аналіз надає точні дані щодо того, скільки ресурсів і часу вимагають різні типи повторюваних завдань (Michaud F.). Наявність такої інформації значно полегшує планування та розподіл ресурсів компанії як у поточних, так і у майбутніх проектах. Ба більше, ретроперспективний аналіз дозволяє передбачити можливі ризики, затримки та оптимізувати використання людських і технічних ресурсів, що підтверджується дослідженнями у сфері управління проектами та аналізу затримок (Gupta & Verma, 2022; Jones, 2021).

З тверджень, наведених вище, стає зрозуміло, що ретроспективний статистичний аналіз допомагає оптимізувати робочі процеси, підвищуючи ефективність і знижуючи витрати через більш точне планування і розподіл ресурсів.

Для дослідження у даній роботі було виконано аналіз задач користувачів розподіленої обчислювальної системи на базі Salesforce CRM. Серед усього списку задач було зроблено вибірку тих, що стосувались проблем доступу кінцевих клієнтів до персонального кабінету на порталі. Усі обрані задачі вимагали схожих рішень, як от відправки системного сповіщення з інструкціями для зміни паролю, скидання налаштувань двох-факторної

автентифікації, тощо. Приблизні приклади звернень наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Приблизні приклади звернень користувачів

Номер, п.п.	Заголовок	Текст звернення
1	Unable to Access Account	Hi, I'm having trouble accessing my account. I've tried entering my username and password multiple times, but it keeps saying my credentials are incorrect. Can you please assist me in resolving this issue?
2	Réinitialisation de Mot de Passe	Bonjour, j'ai oublié mon mot de passe pour me connecter à mon compte. J'ai essayé le lien de réinitialisation, mais je ne reçois aucune instruction de réinitialisation par e-mail. Pouvez-vous m'aider à regagner l'accès à mon compte?
3	Probleme mit der Anmeldung	Guten Tag, ich habe Probleme, auf mein Konto zuzugreifen. Ich habe meinen Benutzernamen und mein Passwort mehrmals eingegeben, aber es wird immer angezeigt, dass meine Anmeldeinformationen falsch sind. Können Sie mir bitte bei der Lösung dieses Problems helfen?

Примітки: У прикладі №1 користувач намагається кілька разів ввести логін і пароль, але система постійно виводить повідомлення про невірні облікові дані. Запит на допомогу у відновленні доступу до акаунту. У прикладі №2 користувач забув свій пароль і спробував скористатися функцією скидання пароля, але не отримав електронного листа з інструкціями. Він просить допомоги у відновленні доступу до свого облікового запису. У прикладі №3 Користувач кілька разів вводив правильний логін і пароль, але система постійно показує помилку. Він запитує допомогу у вирішенні проблеми з доступом до свого акаунту.

Джерело: Таблицю розроблено авторами на основі дослідження популярних запитів та часто запитуваних питань до служби підтримки користувачів різних обчислювальних систем.

На першому етапі дослідження, розподіл звернень здійснювався вручну, без урахування будь-яких характеристик задач, як от мови звернення, чи навичок працівників, як от володіння мовами. При аналізі виконання задач працівниками спостерігались як позитивні, так і негативні ознаки. Наприклад, кожен працівник мав задачі для обробки та так чи інакше справлявся з їх вирішенням, але іноді це вимагало додаткових затрат у часі. Спостерігались суттєві витрати зусиль на комунікацію працівників компанії з клієнтами у тих випадках, коли працівник на високому рівні не володів мовою клієнта і використовував онлайн сервіс для перекладу повідомлень (див. таблицю 2).

Таблиця 2. Порівняння середнього часу витраченого працівниками на обробку звернень на різних мовах

Мова звернення → Мова працівника ↓	Англійська	Французька	Німецька
Англійська	25хв	45хв	37хв
Французька	32хв	23хв	45хв
Німецька	34хв	36хв	24хв

Примітки: Таблиця показує середній час, витрачений працівниками на обробку звернень, залежно від мови звернення та мови, якою володіє працівник. Це дозволяє проаналізувати, наскільки швидко обробляються звернення, коли мови звернення і працівника збігаються або відрізняються.

Джерело: розроблено авторами на основі аналізу власних експериментальних даних та досліджень (Churkina et al., 2023; Canestrino et al., 2022).

Проаналізувавши результати, наведені у Таблиці 2, можна дійти до висновку, що

середня тривалість обробки клієнтського звернення працівником компанії – 34хв. Але, порівнюючи отримане значення з середнім часом витраченим на аналогічні операції в оптимальних умовах (коли працівник вільно володіє мовою користувача, 24хв), стає зрозуміло, що різниця – суттєва. Працівник компанії витрачає на ~29% більше часу, що в свою чергу є індикатором неефективного розподілу роботи, котрий необхідно усунути.

Врахування продуктивності працівників при розподілі задач необхідне з кількох причин, а саме:

1. Оптимізація ефективності шляхом урахування здібностей, досвіду, талантів, навичок, тощо.
2. Підвищення якості результатів. Наприклад, вирішення задач, що вимагають уваги до деталей, зазвичай можуть більш бути більш якісно вирішені кроріткими робітниками.
3. Зменшення часу, необхідного для виконання завдань. Потенційно, більш досвідчені працівники можуть вирішити проблему за коротший час, ніж працівники-початківці.
4. Підвищення мотивації та задоволення працівників, адже оператори можуть відчувати позитивні емоції працюючи над задачами, котрі вони виконують краще за інших з тих чи інших причин.

На другому етапі дослідження було проведено визначення рівня володіння іноземними мовами серед працівників. Це було необхідно для подальшої зміни процесу розподілу звернень кінцевих користувачів виходячи з рівнів володіння мовами працівниками компанії таким чином, щоб звернення надходили в першу чергу тим, хто вільно володіє мовою звернення, а в випадку їх недоступності (наприклад, коли вони працюють над іншими задачами) задачі були делеговані тим, хто володіє мовою звернення краще за інших.

Шляхом оптимізованого розподілу було зменшено середню тривалість обробки звернення користувача до 31хв, що на 7% ефективніше випадкового розподілу.

Однак, системи масового обслуговування не завжди є сталими, адже їх функціонал та характеристики можуть змінюватись з часом. Тому, виникає необхідність розробці уніфікованої моделі оптимізованого розподілу задач.

При розробці уніфікованої моделі оптимізованого розподілу задач важливо звернути увагу на кілька ключових аспектів:

1. Профіль користувача та компетентність: Розуміння навичок, вмінь та обмежень кожного виконавця. Це може включати експертність у певних областях, швидкість виконання різних видів завдань тощо.
2. Навантаження та обсяг завдань: Аналіз обсягу та типів завдань, що виникають у системі. Це важливо для розподілу завдань з урахуванням їх складності та терміновості.
3. Пріоритетність завдань: Визначення важливості та терміновості кожного завдання для оптимального розподілу в залежності від поточних обставин.
4. Взаємодія та комунікація: Забезпечення ефективної взаємодії між виконавцями та замовниками завдань. Це включає чіткість спілкування, обмін інформацією та спільне розуміння очікувань.
5. Адаптивність моделі: Здатність моделі пристосовуватися до змін у навантаженні, нових виконавців або змін у пріоритетності завдань. Гнучкість та можливість швидкого адаптування є ключовими для успішної роботи системи розподілу задач.
6. Ефективність ресурсів: Оптимізація використання ресурсів, включаючи людські та технічні, для максимізації продуктивності та забезпечення оптимального розподілу завдань.

Ці аспекти допомагають побудувати модель, що враховує специфіку системи та сприяє ефективному та оптимізованому розподілу завдань між виконавцями.

Приклад уніфікованої моделі вибору виконавця задачі у СМО що базується на результатах, отриманих вище, зображена на рисунку 1.

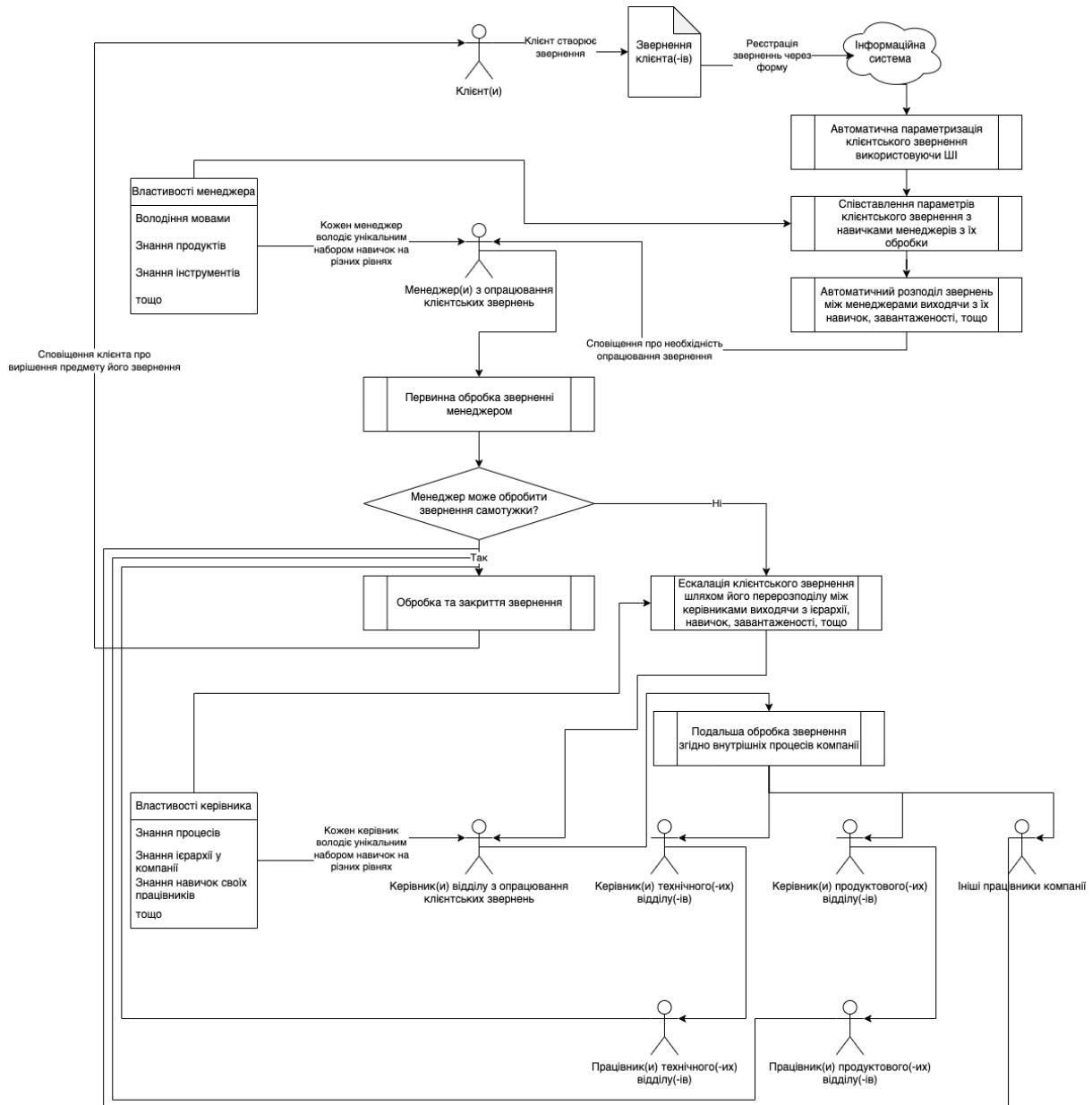


Рисунок 1. Приклад уніфікованої моделі вибору виконавця задачі у СМО

Примітки: Клієнт створює звернення (або задачу), котре реєструється через форму або іншу інформаційну систему. Далі автоматизована система виконує параметризацію поставленої задачі, використовуючи попередньо налаштовані критерії, як от тип звернення, терміновість, ключові параметри. Після реєстрації завдання відбувається порівняння параметрів звернення з навичками менеджерів. Система автоматично визначає, хто з менеджерів має відповідні навички для обробки звернення. Якщо менеджер може обробити звернення самостійно, відбувається його обробка та подальше закриття. Якщо ж потрібна додаткова допомога, відбувається ескалація звернення на вищій рівень. Якщо звернення вимагає спеціальної уваги або залучення більш досвідчених працівників, воно передається на наступний рівень – керівникам або іншим спеціалістам. Система враховує не лише ієрархічну структуру, але й навички, завантаженість та інші важливі чинники. Після передачі задачі керівнику або спеціалістам, звернення проходить подальшу обробку згідно з внутрішніми процесами компанії. В результаті завершується обробка звернення та відправляється повідомлення клієнту про результат.

Джерело: авторська розробка.

Висновки. Застосування статистичного аналізу у виборі виконавців завдань у розподілених обчислювальних системах виявляється критичним через постійно зростаючу складність обчислень. У даному дослідженні, аналізуючи результати експериментів,

використано методологію вибору на основі Salesforce CRM. Ця методика ґрунтується на кореляції даних щодо виконаних завдань та продуктивності працівників. Підходячи до ретроспективного статистичного аналізу, вдалося виявити тенденції та зміни в продуктивності з часом, що стало основою для управлінських рішень у процесі оптимізації роботи.

Аналізуючи процес розподілу завдань вручну на початковому етапі, було виявлено значні недоліки. Не враховувалися основні характеристики завдань та навички працівників, що призводило до витрат часу на комунікацію або використання онлайн-сервісів для перекладу. Це призвело до істотних різниць у часі обробки, особливо при недостатній володінні мовою клієнта.

Врахування продуктивності працівників у розподілі завдань має кілька вагомих переваг. Це не лише оптимізує ефективність, але й покращує якість результатів, скорочує час виконання завдань та сприяє мотивації працівників. Оптимізована модель розподілу завдань, яка враховує профілі користувачів, навантаження, пріоритети, комунікацію та адаптивність, може стати ключовим інструментом для підвищення ефективності робочих процесів у системах масового обслуговування.

Подяки. Немає.

Конфлікт інтересів. Немає.

References

- Amaral, C.J., Hübner, J.F. & Cranefield, S. (2023). Generating and choosing organisations for multi-agent systems. *Auton Agent Multi-Agent Syst*, 37, 41. <https://doi.org/10.1007/s10458-023-09623-8>.
- Canestrino, R., Magliocca, P., & Li, Y. (2022). The Impact of Language Diversity on Knowledge Sharing Within International University Research Teams: Evidence From TED Project. *Frontiers in Psychology*, Vol. 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.879154>
- Celber, D. (2023). Generating and Choosing Organizations for Multi-Agent Systems. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s10458-023-09623-8>.
- Churkina, O., Nazareno, L., & Zullo, M. (2023). The labor market outcomes of bilinguals in the United States: Accumulation and returns effects. *PLoS ONE* 18(6): e0287711. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287711>
- Dery, K., & Sebastian, I. (2017). Employee Experience: Culture, Engagement and Leadership in the Digital Age. *MIT Center for Information Systems Research*. Retrieved from https://c isr.mit.edu/publication/2017_0601_EmployeeExperience_DerySebastian.
- Fu, H., Yu, S., Tiwari, S., Littman, M., & Konidaris, G. (2022). Meta-learning parameterized skills. *arXiv preprint*, arXiv:2206.03597.
- Gao, Z.-F., Zhou, K., Liu, P., Zhao, W. X., & Wen, J.-R. (2023). Small Pre-trained Language Models Can be Fine-tuned as Large Models via Over-Parameterization. In *Proceedings of the 61st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, Vol.1, (pp. 3819–3834). <https://doi.org/10.18653/v1/2023.acl-long.212>
- Gupta, S. K., & Verma, M. (2022). A Comprehensive Review of Statistical Approaches in Task Scheduling for Distributed Systems. *Advances in Statistical Computing*.
- Gupta, S., & Bharti, D. (2020). *Application of Statistical Techniques in Project Monitoring and Control*. In: Kapur, P.K., Singh, O., Khatri, S.K., Verma, A.K. (eds) Strategic System Assurance and Business Analytics. Asset Analytics. Springer, Singapore.

- https://doi.org/10.1007/978-981-15-3647-2_7.
- Hu, Q., Wu, X. & Dong, S. (2023). A Two-Stage Multi-Objective Task Scheduling Framework Based on Invasive Tumor Growth Optimization Algorithm for Cloud Computing. *J Grid Computing* 21, 31 <https://doi.org/10.1007/s10723-023-09665-y>
- Huang, H., Liu, H., Xia, C., Mei, H., Gao, X., & Liang, B. (2023). Sampling-based time-optimal path parameterization with jerk constraints for robotic manipulation. *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 170, p. 104530). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2023.104530>
- Ivanisenko, I. N., & Radivilova, T. A. (2015). Survey of major load balancing algorithms in distributed system. In *2015 Information Technologies in Innovation Business Conference (ITIB) IEEE*. (pp. 89–92). <https://doi.org/10.1109/itib.2015.7355061>
- Jones, M. (2021). Exploring the Role of Statistical Analysis in Distributed System Optimization. *International Journal of Distributed Systems*.
- Lee, J. H., & Kim, T. Y. (2023). Optimization Strategies for Distributed Task Scheduling Using Statistical Methods. *Applied Computing*.
- Li, J., Cong, M., Liu, D. and Du, Y. (2023). Enhanced task parameterized dynamic movement primitives by GMM to solve manipulation tasks. *Robotic Intelligence and Automation*, Vol. 43, No. 2, pp. 85-95. <https://doi.org/10.1108/RIA-07-2022-0199>.
- Mahmood, Y., Meier, A., & Schmidt, J. (2023). Parameterized Complexity of Logic-based Argumentation in Schaefer’s Framework. *ACM Transactions on Computational Logic*, Vol. 24, Issue 3, pp. 1–25. ACM. <https://doi.org/10.1145/3582499>
- Michaud F. A statistical review of delay analysis methods used over the last decade. Retrieved from: <https://www.hka.com/a-statistical-review-of-delay-analysis-techniques-used-over-the-last-decade/>.
- Perez-Villeda, H., Piater, J., & Saveriano, M. (2023). Learning and extrapolation of robotic skills using task-parameterized equation learner networks. *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 160, p. 104309. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2022.104309>.
- Pham, X. L., & Yang, Z. (2023). Task Scheduling in Distributed Computing Environments with Heuristic Algorithms. *Journal of Parallel and Distributed Computing*.
- Shi, H., Jiang, L., Zheng, J., & Zeng, J. (2023). Self-Parameterization Based Multi-Resolution Mesh Convolution Networks. In *Computer-Aided Design* (Vol. 162, p. 103550). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2023.103550>
- Trautmann, M., Voelcker-Rehage, C. & Godde, B. (2011). Fit between workers’ competencies and job demands as predictor for job performance over the work career. *ZAF* 44, 339–347 <https://doi.org/10.1007/s12651-011-0078-2>
- Wang, H., & Lin, Y. (2023). Dynamic Task Allocation for Cloud Computing Systems Using Hybrid Algorithms. *Cloud Computing Journal*.
- Xie, T., Yin, M., Zhu, X., Sun, J., Meng, C., & Bei, S. (2023). A Fast and Robust Lane Detection via Online Re-Parameterization and Hybrid Attention. *Sensors*, Vol. 23, Issue 19, p. 8285). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s23198285>.
- Zhang, L. (2023). The Changing Role of Managers. *American Journal of Sociology*, Vol. 129, Issue 2, pp. 439–484. University of Chicago Press. <https://doi.org/10.1086/727145>