УДК 004.75

ШВИДКИЙ АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ НЕПОЛАДОК ЕЛЕМЕНТІВ МЕРЕЖІ ДОСТУПУ НА ЯКІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ КЛІЄНТІВ

Теленик С.Ф., Ролік О.І., Ясочка М.В., Малюгін Д.В.

Анотація: Розглядається важлива для великих операторів телекомунікаційних послуг проблема визначення впливу відмов елементів мережі доступу на якість обслуговування клієнтів. Пропонується підхід до швидкого розв’язання проблеми в умовах жорстких реальних вимог операторів до часу реагування на неполадки у мережах, в основу якого покладена ідея комбінування продукційного і алгоритмічного підходів. Наводиться відповідний алгоритм, побудований на основі роботи з продукційними системами, які забезпечують гнучкість моделі розповсюдження і оцінювання впливу неполадок елементів мережі на якість обслуговування клієнтів, і прийомах роботи з графами, які забезпечують дотримання часових вимог. Реалізація алгоритму базується на збереженні даних про мережу та їх обробленні у оперативній пам’яті. Наводяться експериментальні дані дослідження запропонованого алгоритму.

Аннотация: Рассматривается важная для больших операторов информационно-телекоммуникационных услуг проблема определения влияния отказов элементов сети доступа на качество обслуживания клиентов. Предлагается подход к быстрому решению проблемы в условиях жестких реальных требований операторов ко времени реакции на отказы в сетях, в основу которого положена идея комбинирования продукционного и алгоритмического подходов. Приводится соответствующий алгоритм, построенный на основе работы с продукционными системами, которые обеспечивают гибкость модели распространения и оценки влияния отказов элементов сети на качество обслуживания клиентов, и приемах работы с графами, которые обеспечивают выполнение временных требований. Реализация алгоритма базируется на сохранении данных о сети и их обработке в оперативной памяти. Приводятся экспериментальные данные исследования предложенного алгоритма.

Abstract: The problem of estimation of net elements flow influence on client service quality at large communication operators is considered. The approach based on available solutions review and analysis of influence factor structure-technology and service-function intended for solving this problem at breakneck speed is proposed. The models of distribution and estimation of access net elements flaw influence in form of tasks on special graphs is elaborated. The algorithm, based on production system and methods of working with graphs, is proposed. Implementation of the algorithm is based on storing and processing access net data in operational memory. The results of proposed algorithm experimental investigation are described.

Вступ

Стрімкий розвиток інформаційних (ІТ) та комунікаційних (КТ) технологій призвів до глобальної інформатизації суспільства [1]. Одним із її проявів є створення густої сітки телекомунікаційних мереж як великомасштабного середовища надання операторами зв’язку різноманітних комунікаційних послуг своїм клієнтам. У таких мережах виділяються транспортні мережі та мережі доступу.

У мережах доступу великих операторів зв’язку може налічуватися декілька мільйонів клієнтів. Кожний з клієнтів має певний набір параметрів, належить до певного класу і має певний набір вимог до рівня обслуговування, зафіксований в угоді про рівень обслуговування SLA (Service Level Agreement).

Коли у мережі доступу з’являються неполадки в комунікаційних пристроях чи сервісах, у клієнтів знижуються показники якості обслуговування. Для того, щоб визначити політику оператора щодо взаємодії з клієнтами на період впливу неполадок, службі обслуговування клієнтів потрібні показники зменшення рівня обслуговування для кожного клієнта. Розрахунки зазначених показників залежать від багатьох параметрів, насамперед сервісів, технологій, які застосовуються оператором, типу обладнання, структури мережі. При цьому логіці здійснення розрахунків притаманна змінність. А час, за який необхідно виконати зазначені розрахунки, загалом досить обмежений.

Постає проблема представлення мереж доступу і організації розрахунків показників зменшення якості обслуговування клієнтів внаслідок неполадок в мережі у реальних умовах функціонування.

У статті пропонується підхід до швидкого розв’язання зазначеної проблеми на основі комбінування продукційного і алгоритмічного підходів, наводиться алгоритм одержання потрібних результатів у межах часових вимог з відповідним рівнем точності.

Сутність проблеми

Мережі операторів поділяються на два основних класи — магістральні мережі передавання даних і мережі доступу. Перші з них становлять ядро великих мережних інфраструктур і призначені для забезпечення зв’язку між великими телекомунікаційними вузлами або регіональними підмережами. Магістральні мережі використовують канали зв’язку з великими пропускними здатностями, об’єднують інформаційні потоки значної кількості підмереж і відрізняються підвищеною надійністю.

Мережі доступу становлять один з ключових компонентів інформаційної інфраструктури, за допомогою яких абонентам надаються різноманітні інформаційні та телекомунікаційні послуги. У мережах доступу деяких операторів може налічуватися до $n \cdot 1000000$ клієнтів, а витрати на створення, модернізацію і підтримку працездатності таких мереж складають вагому частку бюджету операторів. Ці мережі мають переважно ієрархічну будову, кількість рівнів якої залежить від кількості клієнтів і їх розташування, причому кількість рівнів мереж доступу деяких операторів може досягати 10. Для забезпечення вимог до надійності обслуговування клієнтів їм забезпечується доступ до ресурсів мережі

декількома шляхами. Загальна ієрархічна будова мережі оператора з основними і резервними лініями зв’язку детально описана у попередній праці авторів [2]. Її важливий фрагмент буде наведений нижче.

Таким чином, загальна структура мережі доступу в термінах теорії графів не є кореневим деревом, а становить ярусно-паралельну форму спеціального вигляду: на найвищому ярусі зосереджені ресурси, а на найнижчому, тобто у листках — клієнти; кожна вершина може мати n батьківських вершин з різних ярусів і m дочірніх вершин з різних ярусів. Але принципово важливим є той факт, що цей граф можна зобразити у вигляді об’єднання двох і більше кореневих дерев, які можуть перетинатися. Перетин цих графів визначає ті пристрої і лінії зв’язку, які використовуються для надання основних і додаткових шляхів доступу клієнтам.

У кожному вузловому комунікаційному пристрої кожна лінія зв’язку задіює певний порт. Таким чином, ці пристрої структуровані і неполадки можуть стосуватися усього пристрою в цілому або певної його підструктури. При цьому мова може йти про повну втрату функції пристрою (підструктури), чи втрату частини функцій пристрою (підструктури).

Тому оператор для кожного пристрою вводить спеціальний параметр оцінки рівня його відповідності нормам функціонування — severity level, який набуває значень в діапазоні від 0 до 100. Значення кожної позиції цього параметра для оператора чітко визначене, тобто оператор знає наслідки для клієнта кожного значення у зазначеному діапазоні.

Існує набір правил, за допомогою яких, знаючи значення цього показника для кожного комунікаційного пристрою мережі, структуру мережі, параметри технологій, сервісів і обладнання, можна розрахувати значення показника для клієнта. Зазначений набір правил досить громіздкий. Мережа доступу оператора може налічувати мільйони клієнтів, які можуть належати до різних класів за важливістю для оператора, наприклад, можна говорити щонайменше про клієнтів класів platinum, gold, silver, bronze. При цьому на розрахунок показників для усіх клієнтів відводиться обмежений час, який у деяких операторів становить не більше 15 хвилин на 1,5 млн. клієнтів.

Необхідне відповідне програмне забезпечення, яке, по-перше, буде відповідати за ведення необхідних баз даних і виконання розрахунків в обмежений час, а, по-друге, буде інтегрованим в системи рівня Operations Support System (OSS) для управління мережами доступу операторів зв’язку.

Інформація щодо мережі подається в неструктурованому в термінах графів вигляді. Задаються лише вузлові пристрої і пристрої наступного рівня, приєднані до їх відповідних портів, та інформація щодо пристроїв, портів і зв’язків.

Коли в системі трапляються неполадки, інформація про них надходить у вигляді нових значень параметрів оцінки рівня їх відповідності нормам функціонування. Тоді й необхідно врахувати нові значення показників обслуговування клієнтів з урахуванням наведених вище часових обмежень.

З урахуванням суттєвих особливостей логіки визначення впливу неполадок у мережах доступу, наявності значної кількості чинників впливу, великої вимірності мереж, значної кількості клієнтів і жорстких часових обмежень виникає складна практична проблема представлення інформації про структуру мережі і правила перерахунку показників і створення програмного інструментарію оцінювання впливу неполадок у мережах доступу операторів зв’язку на якість обслуговування клієнтів.

На цю проблему накладаються додаткові обмеження, пов’язані з тим, що періодично q разів на добу поступає інформація від інших компонентів систем рівня OSS управління мережами доступу операторів зв’язку про зміни в структурі мережі.

Тому виникає наукова проблема розроблення моделей і відповідних методів і алгоритмів перерахунку, здатних скласти основу програмного інструментарію, який дозволить вирішити наведену практичну проблему в рамках зазначених часових, технологічних та інших обмежень.

Огляд існуючих рішень

У цілому, аналізу впливу неполадок у мережах великих операторів інформаційно-комунікаційних послуг присвячено доволі багато праць, назвемо хоча б праці [2—6]. Вони присвячені різним аспектам розв’язання цієї актуальної проблеми. Більшість праць присвячені аналізу впливу відмов у наданні сервісів на бізнес-операції компаній, які надають сервіси або використовують IT для підтримки своїх бізнес-процесів [3—4]. Автори цих праць переважно концентруються на моделях і методах ефективного управління інцидентами і процесами відновлення сервісів. На їх основі розроблюються системи, метою яких є мінімізація впливу на бізнес зривів найважливіших сервісів. Базовою концепцією побудови цих систем є інтеграція управління виконанням бізнес-процесів з управлінням системою у цілому і забезпечення їх відповідною IT-інфраструктурою.

Деякі праці присвячені розробленню моделей, які визначають залежності сервісів від інших сервісів і ресурсів, а також параметрів якості сервісів у SLA клієнтів і поточного рівня використання сервісів. На основі цих моделей розроблюються процедури прийняття рішень для ефективного відновлення сервісів [5]. Значна частка праць присвячена моделям аналізу впливу неполадок у певних типах мереж, наприклад IP-телефонії [6].

Ще одним напрямком досліджень є розроблення моделей впливу на бізнес операційних ризиків, які є результатом змін, пов’язаних зі зривами у наданні сервісів на невизначений час [7].

Якщо для управління виконанням запропоновано багато моделей загального вигляду, наприклад [8—9], які знайшли втілення у реальних системах управління IT-інфраструктурою [10], то інформація щодо загальних моделей оцінювання впливу неполадок у мережах великих операторів інформаційно-комунікаційних мереж на якість обслуговування клієнтів у літературних джерелах відсутня. У статті [2] запропоноване рішення для задачі визначення впливу неполадок у мережі доступу на якість сервісів, які надаються операторами зв’язку клієнтам. Це рішення базується на визначенні системи правил поширення впливу неполадок у мережі на якість сервісів і загальної схеми застосування цієї системи, яка враховує структуру мережі і особливості сервісів.

Але виникає потреба у розвитку зазначених положень, доведенні їх до рівня завершеного підходу до оцінювання якості сервісів на основі використання правил. Крім того, необхідно розробити конкретний алгоритм розрахунків параметрів впливу і експериментально перевірити його працездатність та можливість одержання потрібних результатів у прийнятний для реальних мереж доступу час.

Постановка проблеми дослідження

Нехай задана інформація про складові мережі доступу і їхні взаємозв’язки, час між змінами в інформації про складові мережі доступу і їхні взаємозв’язки і час між надходженням повідомлень про неполадки в мережі і/або запитами від користувачів щодо визначення рівня їхнього обслуговування.

Необхідно розробити спосіб представлення інформації про мережу доступу, розробити і експериментально дослідити алгоритм розрахунку показників рівня обслуговування клієнтів відповідно до заданих змін у показниках функціонування вузлів.

Підхід до розв’язання проблеми

Очевидно, ефективно розв’язати поставлену проблему можна лише за наявності продуманого представлення мережі доступу і відповідного способу визначення ступеня впливу неполадок на якість обслуговування клієнтів оператора.

Враховуючи змінність мереж, їх обладнання і технологій, мінливість політики операторів щодо базових принципів оцінювання впливу, спосіб оцінювання не доцільно базувати на основі алгоритмічного підходу. Варто використовувати системи, побудовані на правилах — продукційні системи. Правила таких систем (продукції) формують базу знань, а механізм виведення визначає порядок застосування правил, використовуючи робочу область, у якій накопичуються дані щодо поточного стану системи. Таким чином, дані (правила і робоча область) відокремлені від процедур (механізм виведення) і необхідність перепрограмування системи при зміні окремих правил не виникає.

З іншого боку, оскільки продукційні системи загалом побудовані на символьних перетвореннях, їх застосування не може забезпечити виконання розрахунків в умовах жорстких часових обмежень.Тому найперспективнішим видається використання спрощеного представлення мережі, яке містить результати опрацювання правил продукційної системи у вигляді, готовому для прямих розрахунків. Найкращим варіантом видається таке опрацювання правил, коли умовні частини продукцій перевіряються заздалегідь, вирішуються можливі конфлікти і на відповідному шляху у графі зберігаються потрібні для розрахунку впливу значення коефіцієнтів поширення впливу неполадок. У цьому випадку визначення впливу зводиться до перегляду графу від вершин верхніх ярусів до листків, розпочинаючи з вершин з неполадками, і виконанні послідовності арифметичних операцій над коефіцієнтами поширення.

Дійсно, виходячи з різноплановості вимог, доцільно представлення мережі розбити на повне і спрощене представлення. Перше відповідає за склад і структуру мережі, користувачів, сервіси, обладнання і технології, характеристики елементів мережі. Звичайно, воно становить ядро підсистеми інвентаризації — центрального компонента системи управління оператора. У великих базах даних цієї підсистеми дані зберігаються і обробляються за допомогою промислових СКБД. Будемо вважати, що інформація про склад, зв’язки і характеристики елементів мережі знаходиться у таких таблицях:

Objects (поля, які використовуються алгоритмом визначення впливу неполадок: ідентифікатор об’єкта; ім’я об’єкта; тип об’єкта);

Reference (поля, які використовуються алгоритмом визначення впливу неполадок: ідентифікатор об’єкта; посилання на пов’язаний з ним об’єкт; ідентифікатор атрибута);

Parameters (поля, які використовуються алгоритмами визначення впливу неполадок: ідентифікатор об’єкта; ідентифікатор атрибута; значення атрибута).

Спрощене представлення мережі потрібне для швидкого аналізу і оцінювання впливу стану мережі на рівень якості обслуговування клієнтів. Обсяг спрощеного представлення повинен дозволяти цілком завантажувати його в оперативну пам’ять для виконання у ній усіх необхідних розрахунків. Спрощене представлення у вигляді дерева розповсюдження складається з двох частин:

1) опис структури мережі доступу і структури сервісів та служб, які їх підтримують: мережа описується системою елементарних ієрархічних підграфів, що дозволяє застосувати ефективні в умовах зміни структур формальні засоби і структури даних;

2) опис особливостей врахування впливу неполадок у мережі доступу на рівень якості обслуговування клієнтів: задаються елементи мережі, які впливають на якість функціонування наступних елементів, сегментів або сервісів мережі і визначають напрям і об’єм необхідних обчислень (попереднім заданням коефіцієнтів поширення впливу неполадок для виконання безпосередніх обчислень у разі виникнення неполадок).

Отже, виконання розрахунків здійснюється у дві фази. Підготовча фаза призначена для формування необхідних для виконання розрахунків даних. Вона виконується модулем формування спрощеного представлення, який застосовується одноразово для формування зазначеного представлення із повного. Спеціальний модуль зміни спрощеного представлення застосовується кожного разу, коли у мережі відбуваються зміни. Оскільки організація розрахунків здійснюється на основі системи продукцій, на цій фазі правила заздалегідь прив’язуються до структури мережі у спрощеному представленні.

Правила у нотації Бекуса-Наура мають такий вигляд:

<система_правил>::=[<продукція>]

<продукція>::=<клас>P<назва><умова>→<наслідок>

<клас>::=propagation rule|severitylevel rule

<умова>::=[{-} <проста_умова>]

<проста_ умова>::=<клас_об’єкту><ім’я><атрибут><предикат><значення>

<клас об'єкту>::= client | service | technology | device | port | resource

<наслідок>::= [<команда>|<формула>|<програма>]

<предикат>::=≠|=|<|>|≤|≥

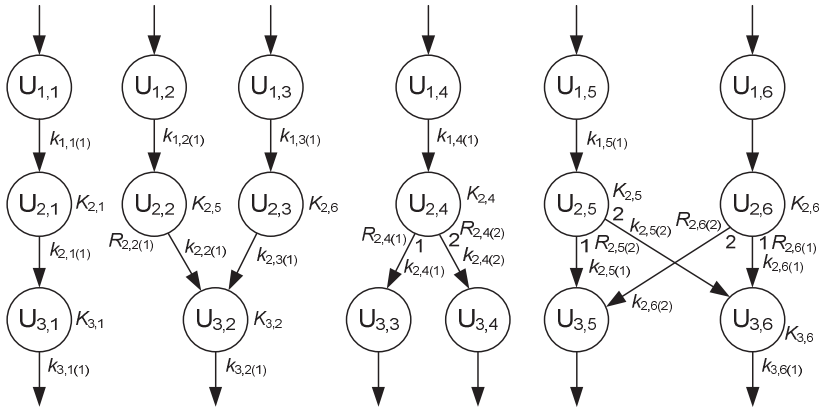
<атрибут>::=<ім’я_сервісу>|<ім’я_технології>|<тип_пристрою>|<параметр>|<тип_клієнта>|<ім’я_клієнта>

Параметрами можуть бути будь-які характеристики сервісів, технологій, пристроїв клієнтів. Значеннями можуть бути константи й імена. Команди виконують дії над елементами робочої області. Їх синтаксис залежить від типу (modify, remove, add).

Елементи робочої області (вони задаються кортежами повного представлення мережі доступу і елементами спрощеного представлення):

<елемент>::=(<клас об’єкта>Name<ім’я> [<атрибут><значення>])

Семантика продукційних систем традиційна, тобто ліві частини продукцій розглядаються як умови, а праві частини — як дії.



а) *б*) *в*) *г*)

Рисунок 1 — Можливі способи з’єднання вузлів мережі доступу і відповідні види правил

На другій фазі, у процесі безпосередніх обчислень підготовлене заздалегідь спрощене представлення опрацьовується алгоритмічно після надходження повідомлення про неполадку. Для цього можна використовувати швидкі алгоритми обходу графів.

Особливості застосування правил для аналізу впливу неполадок продемонструємо на правилах поширення впливу неполадок, коли в якості показників якості використовуються параметри продуктивності [2]. Ці правила наведені на рис. 1. Вони адекватно враховують структуру мережі доступу, основні структурні способи з’єднання її вузлів, особливості комунікаційних технологій, налаштування обладнання, залежність від величини коефіцієнтів зниження швидкості передавання у вхідних лініях, наявність резервування та інші параметри. Зроблені максимально простими для

підвищення швидкодії, ці правила формують основу відповідних продукцій. У наведених правилах для формального оцінювання впливу неполадок на вузли і абонентів мережі доступу введені:

1) коефіцієнт зниження швидкості передавання $k_{i,j(n)}$, який визначає, у скільки разів зменшується швидкість передавання в n-й лінії зв'язку, яка виходить із вузла $U_{i,j}$ (j-й вузол мережі на i-му рівні її ієрархії), відносно нормативного показника, і набуває значення у діапазоні [0, 1];

2) коефіцієнт $K_{i,j}$, який залежить від обумовленого неполадками стану вузла $U_{i,j}$ і визначає ступінь зниження швидкості передавання на виходах вузла $U_{i,j}$ відносно нормативного. Цей коефіцієнт також набуває значення у діапазоні [0, 1], причому $K_{i,j} = 0$ означає, що неполадки унеможливлюють трафік через вузол $U_{i,j}$, а $K_{i,j} = 1$ говорить про те, що неполадки у вузлі $U_{i,j}$ не впливають на швидкість передавання.

При виявленні неполадок у мережі виконується їх локалізація і визначається вплив на абонентів шляхом підрахунку за допомогою відповідних правил значень коефіцієнтів $K_{i,j}$ для потрібних вузлів.

Спосіб а). При справному вузлі $U_{2,1}$ швидкість доступу у вихідній лінії визначається вхідною швидкістю і обмеженнями на швидкість передавання і приймання, встановленими для портів вузла $U_{2,1}$ при його конфігуруванні. Якщо ж вузол $U_{2,1}$ несправний, то можливі два випадки. У першому випадку, коли коефіцієнт $K_{2,1} = 0$, швидкість у вихідній гілці дорівнює 0 незалежно від швидкості на вході. У другому — $K_{2,1} \neq 0$ і неполадка у вузлі $U_{2,1}$ призводить до падіння швидкості у вихідній лінії на коефіцієнт $K_{2,1}$. Тоді коефіцієнт падіння швидкості відносно номінальної у вихідній лінії зв'язку вузла $U_{2,1}$ буде визначатися таким чином

$$k_{2,1(1)} = K_{2,1} \times k_{1,1(1)}. \quad (1)$$

У свою чергу, коефіцієнт $k_{3,1(1)}$ падіння швидкості на виході вузла $U_{3,1}$ буде визначатися за допомогою такого виразу

$$k_{3,1(1)} = K_{3,1} \times k_{2,1(1)} = K_{3,1} \times K_{2,1} \times k_{1,1(1)}. \quad (2)$$

Відповідні цьому способу правила поширення розіб'ємо на таких дві групи:

а) правила прямого поширення впливу неполадок:

IF tt.nod = 1 ∧ type.nod = '…' ∧ class.nod = '…' ∧ type.child.nod = '…' *THEN* tt.child.nod = 1

IF tt.nod = 1 ∧ type.nod= '…' ∧ class.nod = '…' ∧ type.reference.nod = '…' ∧ type.nod.reference = '…' ∧ attribute.nod.reference = '…' *THEN* tt.reference.nod = 1

б) правила зворотного поширення впливу неполадок:

IF tt.nod = 1 ∧ type.nod = '…' ∧ class.nod = '…' ∧ type.parent.nod. = '…' *THEN* tt.parent.nod = 1

IF tt.nod = 1 ∧ type.nod = '…' ∧ class.nod = '…' ∧ type.nod = '…' ∧ type.nod.reference = '…' ∧ attribute.reference.nod = '…' *THEN* tt.reference.nod = 1

Для спрощення у цих правилах не визначаються імена класів об'єктів і значення атрибутів. Тут прості умови tt.nod = 1, tt.child.nod = 1, tt.parent.nod = 1 і tt.reference.nod = 1 означають, що ознака наявності неполадки приписана відповідно вузлу, дочірній вершині вузла, батьківській вершині вузла, вершині, на яку у вузлі є посилання. Інші прості умови зрозумілі із контексту.

Правила формування severity level мають ту ж структуру, але додатково встановлюють коефіцієнт впливу неполадки у відповідному вузлі (дочірньому чи батьківському, тому, що посилається, чи тому, на який посилаються).

Спосіб б). Якщо у вузол, наприклад, $U_{3,2}$, ведуть декілька ліній зв'язку, які використовуються для розподілення навантаження, а не для резервування, то при $K_{3,2} = 1$ для оцінювання впливу необхідно застосовувати вираз

$$k_{3,2(1)} = \begin{cases} k_{2,2(1)} + k_{2,3(1)}, \text{ якщо } k_{2,2(1)} + k_{2,3(1)} \le 1, \\ 1, \text{ якщо } k_{2,2(1)} + k_{2,3(1)} > 1. \end{cases}$$

Якщо коефіцієнт $K_{3,2}$ не дорівнює 1, то виконується відповідна корекція коефіцієнта $k_{3,2(1)}$.

Відповідні цьому способу правила поширення мають такий же вигляд, як і для попереднього випадку. Правила формування severity level повинні мати такий вигляд:

IF tt.nod_1 = 1 ∧ severity.nod_1 = k ∧ type.nod_1 = '…' ∧ class.nod_1 = '…' ∧ type.child.nod = '…' ∧ severity.nod_2 = m ∧ type.nod_2 = '…' ∧ class.nod_2 = '…' *THEN* tt.child.nod = 1 ∨ severity.child.nod = $f(k+m)$.

Тут використовуються ті ж прості умови, що і для способу а, але nod_1 і nod_2 позначають двох різних батьків. Змінні severity.nod_1 і severity.nod_2 набувають значення severity level для двох різних батьків. Тут і надалі за допомогою функції $f(x)$ підкреслюється необхідність розрахунку коефіцієнтів за наведеними вище формулами.

Спосіб в). Нехай $R_{i,,j(n)}$ — це коефіцієнт, який визначає розподіл полоси пропускання між n вихідними лініями зв'язку j-го вузла i-го ієрархічного рівня. Цей коефіцієнт набуває значення із діапазону [0, 1], причому, якщо швидкість доступу у вхідній лінії повністю розподіляється між портами

вихідних ліній без додаткових обмежень, які встановлюються при конфігуруванні вузла $U_{2,4}$, то приймається

$$\sum_{n=1}^{N_{i,j}} R_{i,j(n)} = 1.$$

Тоді коефіцієнт падіння швидкості у 1-й та 2-й лініях зв’язку на виході вузла $U_{2,4}$ буде визначатися таким чином:

$$k_{2,4(1)} = R_{2,4(1)} \times K_{2,4} \times k_{1,4(1)},$$
$$k_{2,4(2)} = R_{2,4(2)} \times K_{2,4} \times k_{1,4(1)}.$$

Відповідні цьому способу правила поширення мають такий же вигляд, як і для попередніх випадків. Правила формування severity level повинні мати такий вигляд:

IF tt.nod = 1 ∧ severity.nod = k ∧ type.nod_1 = ‘…’ ∧ class.nod_1 = ‘…’ ∧ type.child.nod = ‘…’ ∧ type.child.nod = ‘…’ ∧ class.child.nod = ‘…’ *THEN* tt.child.nod = 1 ∨ severity.child.nod = $f(k)$.

Спосіб г). Для підвищення надійності у мережах доступу використовуються резервні лінії зв’язку. На рис. 1*г* такими лініями є лінії 2, які виходять із вузлів $U_{2,5}$ і $U_{2,6}$, тоді як лінії 1 є основними. Перемикання на резерв в IP-мережах виконується автоматично при виході з ладу основної лінії зв’язку чи основного вузла, а розподіл швидкостей в основній і резервній лініях прописується у вузлових елементах при їх конфігуруванні. Тоді для оцінювання коефіцієнта $k_{3,6(1)}$ необхідно застосовувати вираз

$$k_{3,6(1)} = \begin{cases} K_{3,6} \times k_{2,6(1)}, \text{ якщо } K_{2,6} \text{ дорівнює } 1, \\ K_{3,6} \times k_{2,6(2)}, \text{ якщо } K_{2,6} \text{ дорівнює } 0, \text{ а } K_{2,5} \text{ дорівнює } 1, \\ 0, \text{ якщо } K_{2,6} = K_{2,5} = 0. \end{cases}$$

У свою чергу, для оцінювання коефіцієнта $k_{2,5(2)}$ необхідно застосовувати вираз

$$k_{2,5(2)} = \begin{cases} R_{2,5(2)} \times K_{2,5} \times k_{1,5(1)}, \text{ якщо } K_{2,6} = 0, \\ 0, \text{ якщо } K_{2,6} \neq 0. \end{cases}$$

Природно, що використання частини канальних ресурсів на підтримку резервної лінії може призвести до падіння швидкості в основній лінії. Тоді для оцінювання коефіцієнта $k_{2,5(1)}$ необхідно застосовувати вираз

$$k_{2,5(1)} = \begin{cases} R_{2,5(1)} \times K_{2,5} \times k_{1,5(1)}, \text{ якщо } K_{2,6} = 0, \\ K_{2,5} \times k_{1,2(1)}, \text{ якщо } K_{2,5} \neq 0. \end{cases}$$

Таким чином, стан одного з вузлів, наприклад, $U_{2,6}$ може здійснювати вплив на коефіцієнти падіння швидкості у вихідних лініях інших вузлів, у нашому випадку $U_{2,5}$, які знаходяться на тому ж чи на вищих ієрархічних рівнях відносно вузла, про який іде мова, і не зв’язаних з ним фізично.

Відповідні цьому способу правила повинні належати такій множині:

IF tt.nod = 1 ∧ severity.nod = k ∧ type.nod = ‘…’ ∧ class.nod = ‘…’ ∧ type.child.nod = ‘…’ ∧ sign.reserve_parent = 1 ∧ output.nod.reserve_parent = m ∧ type.reserve_parent = ‘…’ ∧ class.reserve_parent = ‘…’ ∧ type.child.reserve_parent = ‘…’∧ output.child.reserve_parent = n *THEN* tt.child.nod = 1 ∨ severity.child.nod = f(k,m) — якщо є резервна лінія зв’язку і для неї виділений запас продуктивності;

IF tt.nod = 1 ∧ severity.nod = k ∧ type.nod = ‘…’ ∧ class.nod = ‘…’ ∧ type.child.nod ‘…’ ∧ sign.reserve_parent = 1 ∧ output.nod.reserve_parent = m ∧ type.reserve_parent = ‘…’ ∧ class. reserve_parent = ‘…’ ∧ type.child.reserve_parent = ‘…’ ∧ output.child.reserve_parent = n *THEN* tt.child.nod = 1 ∨ severity.child.nod = $f(k+m)$ ∨ tt.child.reserve_parent = 1 ∨ severity.child.reserve_parent = $f(n-m)$ — якщо є резервна лінія зв’язку, але для неї не виділений запас продуктивності і резерв підтримується за рахунок дочірніх вершин резервного батька.

Тут додаткові прості умови sign.reserve_parent = 1 і tt.child.reserve_parent = 1 відповідно означають, що існує зв’язок з резервним батьком і ознака наявності неполадки приписана дочірній вершині резервного батька. Змінні severity.nod, severity.child.nod, severity.child. reserve_parent набувають значення severity level для вузла, дочірньої вершини і дочірньої вершини резервного батька. Змінні output.nod.reserve_parent і output.child.reserve_parent набувають значення коефіцієнтів зниження швидкості передавання, які визначені вище.

Прив’язавши правила до структури мережі доступу, тобто визначивши задіяні правила для вершин графу і включивши відповідні коефіцієнти поширення впливу неполадок у спрощене представлення, другу фазу можна звести до перерахунку впливу неполадок на основі обходу графів спеціального вигляду. Дерево розповсюдження впливу становить, по суті, структуру даних для організації роботи алгоритму обходу графів спеціального вигляду. У процесі обходу зазначений алгоритм повинен також виконати розрахунок оцінок впливу неполадок на рівень обслуговування

клієнтів оператора на основі збережених у вершинах спрощеного представлення коефіцієнтів поширення.

Таким чином, постає потреба у алгоритмі, який повинен інтегрувати такі узагальнені процедури: структуризація повного представлення мережі і побудова каркасу дерева розповсюдження впливу; вибір продукцій для вузлів дерева розповсюдження впливу; визначення коефіцієнтів перерахунку для вузлів дерева розповсюдження впливу; безпосередній перерахунок впливу. До того ж, цей алгоритм повинен здійснювати розрахунки в умовах жорстких часових обмежень.

Швидкий алгоритм оцінювання впливу

Розглянемо ідеї, які можна покласти у реалізацію кожної із цих процедур, з метою мінімізації часу розрахунків, не випускаючи можливості здійснити це з використанням якомога менших обсягів пам’яті.

Призначення процедури структуризації повного представлення мережі і побудова каркасу дерева розповсюдження впливу полягає у формуванні на основі повного представлення мережі доступу спеціальної ярусно-паралельної форми. Таким чином, буде здійснено перехід до структурованого спрощеного представлення, у якому мережа доступу задається у термінах піддерев і шляхів. Воно є основою візуалізації мереж доступу з точки зору аналізу впливу неполадок.

Оскільки у алгоритмі передбачається використовувати порівневий обхід графа, у цій процедурі побудови графа кожному вузлу необхідно приписати певний рівень, виходячи із кількості проміжних елементів між ним і коренем. Такий граф зображений на рис. 2. Одне із обмежень такого підходу полягає в тому, що на кожному шляху від рівня 1 до вершин рівня користувачів повинні бути визначені вузли на кожному проміжному рівні. Таким чином, для зв’язків, які поєднують вершини несуміжних рівнів, наприклад, для відображення безпосереднього зв’язку між вузлами рівня 1 і рівня *N*, необхідно вводити фіктивні вузли на кожному проміжному рівні (на рис. 2 фіктивні вузли $U_{2,2}$ і $U_{2,5}$ зображені пунктирними лініями). Розрахунки для цих вузлів не виконуються і вони не впливають на показники мережі доступу.

Граф доцільно зберігати в оперативній пам’яті у вигляді списку ребер, кожний елемент якого містить інформацію про початкову і заключну вершини відповідного ребра, а також додаткову інформацію (тип, коефіцієнти і т. п.), необхідну для розрахунків. Для вузлів будемо використовувати окремий масив, кожний елемент якого містить інформацію про рівень, якому належить вузол, коефіцієнт неполадки і місце для тимчасової інформації, яка з’являється при виконанні розрахунків для вузла.

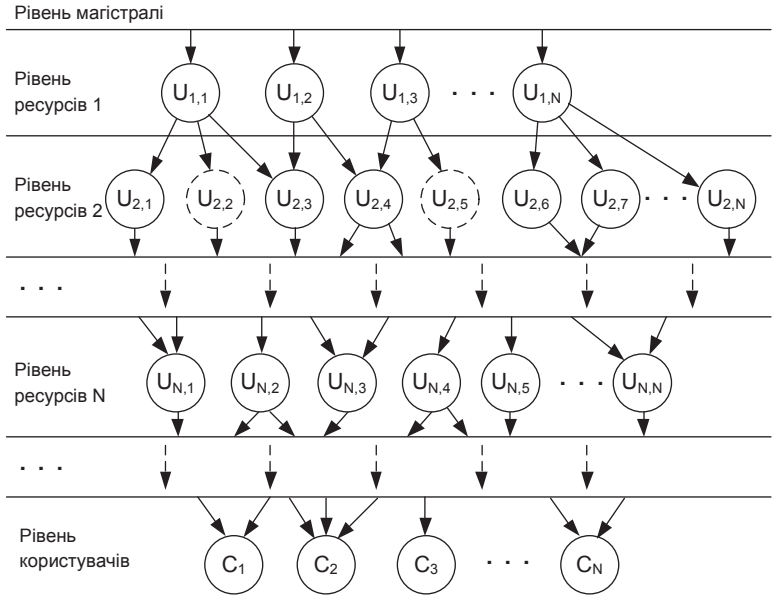


Рисунок 2 — Загальний вигляд графа розповсюдження впливу неполадок

В основу здійснення вибору правил покладемо механізм виведення у продукційних системах. Функціонування механізму виведення зводиться до послідовного виконання операцій перевірки умов правил, доки не буде визначено задіяні правила для кожної вершини графу. Правила розбиті на прості умови, кожній з яких приписаний унікальний ідентифікатор. Самі ж правила становлять собою колекції простих умов, поєднаних логічним оператором кон’юнкції. Таким чином, при зчитуванні чергового атрибута вузла значення атрибута порівнюється з простою умовою відповідного типу. При виконанні умови відповідний ідентифікатор додається у колекцію вузла. При цьому перевіряється, чи не

спрацювало якесь правило. У випадку спрацювання правила колекція об’єкта очищується, а на вихідних ребрах вузла проставляються коефіцієнти відповідно до зазначеного правила. Такий підхід дозволяє виконати необхідні розрахунки за один перегляд таблиці атрибутів, а також мінімізувати використання оперативної пам’яті. Для вирішення конфліктних ситуацій застосовується механізм пріоритету правил. Правила переглядаються у певному порядку, перше з них, умова якого виконується, застосовується.

Визначення коефіцієнтів перерахунку для вузлів дерева розповсюдження впливу здійснюється шляхом формування необхідних для визначення впливу коефіцієнтів поширення згідно з правими частинами задіяних для вершини правил.

Розрахунок впливу неполадок здійснюється порівнево. Таким чином, при виконанні розрахунків для поточного вузла ми впевнені, що виконані розрахунки для усіх вузлів попереднього рівня, які впливають на поточний вузол.

Отже, загальна ідея забезпечення ефективності перерахунку показників впливу неполадок елементів мережі доступу на інші елементи мережі і, насамкінець, на якість обслуговування клієнтів оператора зв’язку полягає у тому, щоб перейти від повторюваного послідовного перегляду робочої області і області правил до комбінованого застосування таких трьох прийомів:

1. індексація елементів робочої області: це дозволить підключити до усіх простих умов ті елементи робочої області, що їм задовольняють, і після цього переглядати тільки ці списки. Для кожного правила створюється лічильник кількості простих умов, початковим значенням якого є 0. При зміні робочої області до його значення додається або віднімається 1 в залежності від того, додається чи видаляється елемент робочої області, що задовольняє якійсь простій умові відповідного правила. Таким чином, порівняння лічильника з кількістю простих умов правил дозволяє швидко відібрати правила, умови яких виконуються. З кожною простою умовою зберігається список елементів робочої області, яким вона задовольняє. При зміні елементів робочої області списки коригуються. При інтерпретації переглядаються тільки списки і готується перелік конфліктних правил;

2. структурування системи правил: в пам’яті будується дерево описання простих умов, вершини якого відповідають ознакам простих умов, а листки — тим продукціям, прості умови яких виконуються на шляху від кореня. Система підтримує пам'ять про ті вузли, що відповідають даному стану робочої області, і модифікується при нових елементах робочої області;

3. прив’язування правил до вузлів спрощеного представлення мережі доступу: посилання на правила і лічильники зберігаються у кожному вузлі спрощеного представлення мережі доступу.

Коли дерево розповсюдження впливу побудоване, тим самим визначений загальний характер виконання розрахунків. Але існують альтернативи виконання розрахунків і після побудови дерева. По-перше, спільне використання списків, дерев і спрощеного представлення мережі доступу потенційно може забезпечити високу ефективність перерахунку показників впливу неполадок. По-друге, ще більше підкреслює сподівання на високу ефективність та обставина, що спрощене представлення можна розташувати у оперативній пам’яті. Отже, зникає необхідність у постійному звертанні до значно повільнішої зовнішньої пам’яті і, як наслідок, міцнішають сподівання на високу ефективність перерахунку. Тому доцільно навести загальний опис методу розрахунку впливу неполадок, який буде втілений у програмній реалізації.

Для швидкого аналізу впливу стану мережі на якість обслуговування користувачів був розроблений алгоритм, побудований на збереженні і опрацюванні спрощеного представлення у оперативній пам’яті. Він складається із двох підалгоритмів — формування і виконання спрощеного представлення.

Підалгоритм BS1 формування спрощеного представлення.

Вхід: Повне представлення (таблиці інвентарної бази) і система продукцій.

Вихід: Спрощене представлення.

Крок 1. Послідовний перегляд кортежів таблиці Objects і формування відповідних вершин і ребер спрощеного представлення.

Крок 2. Послідовний перегляд кортежів таблиці Reference і формування відповідних вершин і ребер спрощеного представлення.

Крок 3. Вибираємо черговий кортеж таблиці Parameters.

Крок 4. Знаходимо і позначаємо у спрощеному представленні у відповідній вершині просту умову, яка міститься у кортежі таблиці Parameters.

Крок 5. Знаходимо і позначаємо у таблиці продукцій у відповідних правилах просту умову, яка міститься у вибраному кортежі таблиці Parameters.

Крок 6. Перевіряємо умову: чи є продукція, усі прості умови якої виконані.

Якщо так, то реалізуємо правило у спрощеному представленні, формуючи в ньому відповідні поля у відповідних ребрах і вершинах, значення коефіцієнтів для розрахунку впливу неполадок, коли вони трапляться. Вилучаємо позначки простих умов у відповідній вершині спрощеного представлення. Вилучаємо позначки простих умов у відповідному правилі.

Якщо ні, то переходимо на крок 5.

Крок 7. Якщо усі кортежі таблиці Parameters розглянуті, то видаємо показники впливу неполадок на якість обслуговування клієнтів і кінець роботи, інакше — перехід на крок 3.

При зміні конфігурації мережі із інвентарної бази надходить відповідний сигнал (наприклад, від тригера в СУБД). У цьому випадку будуть виконані відповідні записи у списку ребер і масиві вершин, здійснений перерахунок підпорядкованих вузлів. Час перерахунку не перевищить часу розрахунку впливу неполадки. При додаванні нового користувача розрахунок здійснюється тільки для нього.

Підалгоритм BE1 виконання спрощеного представлення. Розглянемо алгоритм на прикладі, наведеному на рис.2. Нехай вузол $U_{1,3}$ вийшов з ладу на 50%. Робота алгоритму:

Крок 1. Розраховуємо вхідний коефіцієнт для вузла $U_{1,3}$. Оскільки вузол знаходиться на рівні 1, то вхідний коефіцієнт буде завжди дорівнювати 1.

Крок 2. Цьому вузлу встановлюється новий коефіцієнт неполадки, який дорівнює 0,5.

Крок 3. Перебираються вихідні ребра поточного вузла і розраховуються коефіцієнти пропускної здатності за формулою: $k = P * K$, де P — пропускна здатність на вході вузла, K — коефіцієнт неполадки вузла. Також, при обході ребра, на наступному (другому) рівні позначаються вузли, на які впливає ця неполадка. У нашому випадку це буде вузол $U_{2,4}$ і фіктивний вузол $U_{2,5}$.

Крок 4. Розрахунок першого рівня закінчений. Другий рівень робимо поточним.

Крок 5. У циклі перебираються вузли, позначені у п. 4. Оскільки вузол $U_{2,5}$ — фіктивний, то розрахунки в ньому не виконуються, а тільки позначаються вузли наступного рівня, на які може вплинути ця неполадка.

Крок 6. Розраховуємо неполадку у вузлі $U_{2,4}$. Перебираємо масив вхідних ребер і підсумовуємо коефіцієнти пропускної здатності (S). Вхідний коефіцієнт у вузлі розраховується за формулою: u = min(S; 1). Якщо для всіх постраждалих вузлів поточного рівня u = 1, то розрахунки припиняються, оскільки нижні рівні будутьзнаходитися у повністю функціональному стані і неполадка «згасне».

Крок 7. Переходимо до кроку 1, але на кроці 2 встановлюємо коефіцієнт неполадки уже поточного вузла. У нашому випадку для $U_{2,5}$ він дорівнює 1 (вузол повністю функціональний).

Крок 8. Дії повторюємо до тих пір, доки поточним не стане рівень користувачів.

Крок 9. Для кожного користувача перебираємо масив вхідних ребер і виконуємо для нього дії кроку 6.

Крок 10. Формуємо масив постраждалих користувачів з коефіцієнтом неполадки.

Резервні вузли враховуємо за допомогою правил, наведених вище для способу г) з’єднання вузлів мережі доступу. Якщо у постраждалого вузла є вхідні резервні ребра, то вплив неполадки може бути зменшений за рахунок потужності резервного ребра. При цьому, у деяких випадках, вплив неполадки може поширитися на дочірні вершини резервного батька.

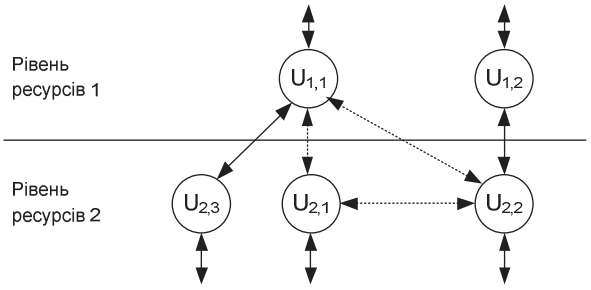


Рисунок 3 — Приклад петлі

Оскільки напрям ребра вказує на зростання рівня, а трафік може передаватися і в зворотному ієрархії напрямі, то може виникнути проблема розрахунку петель. Приклад петлі наведений на рис. 3.

Тут петля позначена пунктиром. Зв’язок на одному рівні (між $U_{2,1}$ і $U_{2,2}$) буде реалізований за допомогою двох ребер. Зв’язок вигляду $U_{1,1} <> U_{2,2}$ реалізувати практично неможливо. Тому необхідно замінити його на еквівалентний. Еквівалент фрагменту мережі з петлею наведений на рис. 4.

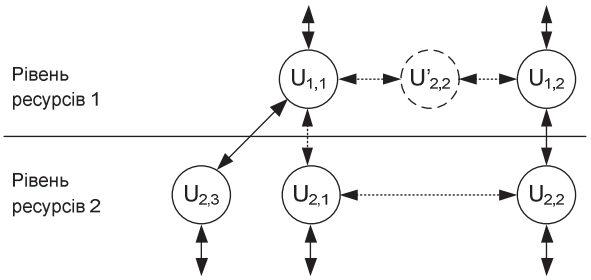


Рисунок 4 — Еквівалентне перетворення петлі

Таким чином, у нашій моделі будуть існувати зв’язки тільки вниз або на одному рівні, що дозволить успішно застосовувати описаний вище алгоритм роботи. Для еквівалентної заміни для перерахунків знадобиться коефіцієнт R для ребра між вузлами $U_{1,1}$ і $U'_{2,2}$, який буде вказувати на частку загальної вихідної потужності вузла $U_{2,2}$, що буде переключена на це ребро. Також нам знадобиться спеціальний еквівалентний вузол $U'_{2,2}$, який буде копією вузла $U_{2,2}$, але лише з одним виходом. Варто зазначити, що однорівневі зв’язки у графі можуть бути тільки резервними.

Результати експериментальних досліджень

Експерименти проводилися над різними варіантами структур мереж доступу, сервісів, кількостей клієнтів. При цьому характеристики обладнання і технології змінювалися. Алгоритм був оцінений стосовно часу і пам’яті, необхідних для одержання розв’язків. Експеримент проводився для двох підалгоритмів, реалізованих у вигляді окремих модулів однієї програми, окремо.

При тестуванні першого модуля будувалися дерева з різною кількістю елементів. Кожний елемент описувався 2 атрибутами — ім’ям і типом. Використовувалась обмежена кількість правил.

При тестуванні другого модуля експеримент проводився на випадково згенерованих деревах різних розмірів. Під час експерименту випадковим чином емулювалися виходи з ладу верхнього вузла і, таким чином, перераховувалося усе дерево.

Результати експерименту з під алгоритмом *BS1* (першим модулем програми) наведені у вигляді графіку, зображеного на рис. 5, і у таблиці 1.

Таблиця 1 — Результати дослідження першого модуля

Кількість вузлів	Час генерації дерева ($t_г$), мс	Час читання атрибутів ($t_а$), мс	Час обробки правил ($t_п$), мс	Загальний час ($t_{заг}$), мс
13620	876	613	12	1501
65025	3873	2737	58	6668
270645	10853	11616	106	22575
476268	32905	24432	3236	60573

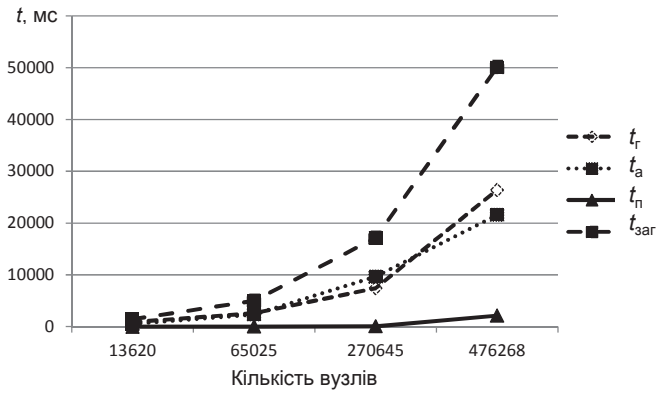


Рисунок 5 — Графік залежності часу побудови спрощеного представлення від кількості елементів

Результати експерименту з підалгоритмом *BE1* (другим модулем програми) наведені у вигляді графіків, зображених на рисунках 6, 7, і у таблиці 2. При цьому максимальна кількість ребер не перевищувала 1,5 млн.

Таблиця 2 — Результати дослідження другого модуля

Кількість вузлів	1007	9977	270645	476268
Об'єм пам'яті, що потребується, K	5332	10240	99288	200384
Час обчислення ($t_{об}$), ms	5	41	155	633

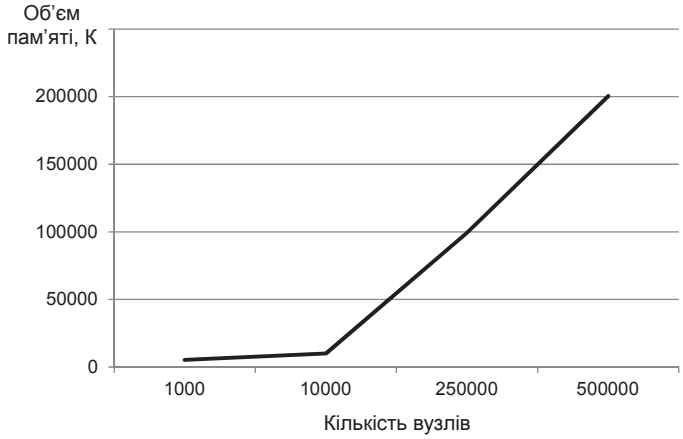


Рисунок 6 — Графік залежності об'єму оперативної пам'яті, що потребується, від кількості елементів мережі

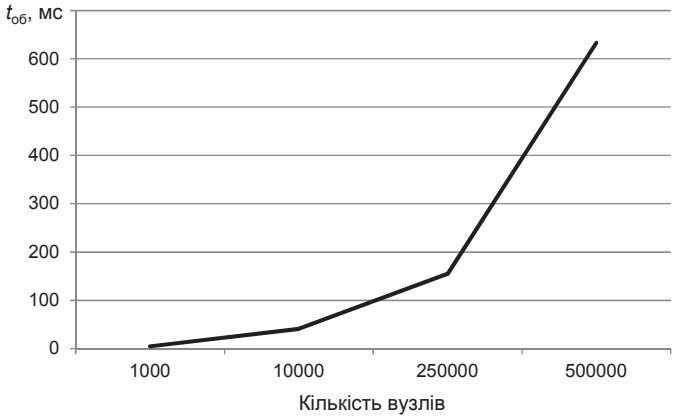


Рисунок 7 — Графік залежності часу розрахунку показників обслуговування від кількості елементів мережі

Експериментальні дані наведені без перерахунку петель.

Результати експериментів продемонстрували працездатність запропонованих алгоритмів. При цьому необхідні для розрахунків пам'ять і час не перевищують достатньо жорсткі вимоги операторів зв'язку.

Висновки

У статті запропоновано підхід до швидкого розв'язання проблеми визначення впливу відмов елементів мережі доступу на якість обслуговування клієнтів великих операторів інформаційно-телекомунікаційних послуг на основі комбінування продукційного і алгоритмічного підходів. Реалізація підходу базується на графо-орієнтованій моделі представлення мережі і сервісів, системі продукцій і відповідному механізмі виведення, а також алгоритмі організації процесу визначення впливу відмов елементів мережі доступу на якість обслуговування клієнтів на основі схем обходу графів. Реалізація алгоритму базується на ідеї збереження і опрацювання спрощеного представлення мережі у оперативній пам'яті.

Проведені експериментальні дослідження розробленого варіанту реалізації запропонованих моделі і алгоритму. Вони продемонстрували працездатність запропонованого варіанту реалізації алгоритму. Витрати часу і пам'яті, необхідні для одержання потрібних операторам результатів, не

перевищують реальних обмежень (нагадаємо, що час розрахунків у деяких операторів мереж доступу становить не більше 15 хвилин на 1,5 млн. клієнтів).

Подальший розвиток досліджень пов’язаний з розробленням моделей і алгоритмів, які враховують інші особливості мереж доступу, технології, що дозволить розширити множину ситуацій, в яких може застосовуватися розроблений підхід.

Список літератури

1. Павлов А.А. Информационные технологии и алгоритмизация в управлении / А.А. Павлов, С.Ф. Теленик. — К.: Техника, 2002. — 344 с.
2. Теленик С.Ф. Определение распространения влияния неисправностей в сети доступа на качество предоставляемых сервисов / С.Ф. Теленик, А.И. Ролик, М.М. Букасов, М.В. Ясочка // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — К.: «ВЕК+». — 2009. — №50. — С. 164—173.
3. Biazetti A., Goldszmidt G. Integrating business performance management with IT management through impact analysis and provisioning // NOMS 2008 — 11th IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium, vol. 11, no. 1, April 2008, pp. 504—518.
4. Bartolini C., Stefanelli C., Tortonesi M. Business-impact analysis and simulation of critical incidents in IT service management // IM 2009 — 11th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, vol. 11, no. 1, June 2009, pp. 9—16.
5. Hanemann A., Schmitz D., Sailer M. Towards a framework for failure impact analysis and recovery with respect to service level agreements // IM 2005 — IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, no. 1, May 2005, pp. 1189—1192.
6. Shankar S., Satyararayaman O. An Automated System for Analyzing Impact of faults in IP Telephony Networks// Network Operations and Management Symposium, 2006. NOMS 2006. 10th IEEE/IFIP, April 2006, p. 1—4.
7. Setzer T., Bhattacharya K. Ludwig H. Decision support for service transition management enforce change scheduling by performing change risk and business impact analysis // NOMS 2008 — 11th IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium, vol. 11, no. 1, April 2008, pp. 200—207.
8. Теленик С.Ф. Управління ресурсами центрів оброблення даних / С.Ф. Теленик, О.І. Ролік, М.М. Букасов, К.О. Крижова // Вісник ЛНУ імені Івана Франка. — 2009. — №11. — С. 103—119.
9. Теленик С.Ф. Моделі управління розподілом обмежених ресурсів в інформаційно-телекомунікаційній мережі / С.Ф. Теленик, О.І. Ролік, М.М. Букасов // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — К.: Екотех. — 2006. — №44. — С. 243—246.
10. Теленик С.Ф. Система управління інформаційно-телекомунікаційною системою корпоративної АСУ / С.Ф. Теленик, О.І. Ролік, М.М. Букасов, Р.Л. Соколовський // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — К.: «ВЕК+». — 2006. — №45. — С. 112—126.

Відомості про авторів

Теленик Сергій Федорович — д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматики та управління в технічних системах, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги 37, м. Київ, 03056, тел. (044) 406-86-10, telenik@auts.ntu-kpi.kiev.ua.

Ролік Олександр Іванович — к.т.н., доцент кафедри автоматики та управління в технічних системах, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги 37, м. Київ, 03056, тел. (044) 406-86-10, rolick@auts.ntu-kpi.kiev.ua

Ясочка Максим Володимирович — аспірант кафедри автоматики та управління в технічних системах, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

Малюгін Дмитро Володимирович — студент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».