

Б. І. Мороз, доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри інформаційних систем
та технологій Академії митної служби України

Л. В. Кабак, кандидат технічних наук, доцент
кафедри інформаційних систем та технологій
Академії митної служби України

О. П. Буланій, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент
кафедри інформаційних систем
та технологій Академії митної служби України

МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ РЕПЛІКАЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ В РОЗПОДІЛЕНИХ БАЗАХ ДАНИХ З УРАХУВАННЯМ ЯКІСНО-КІЛЬКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІНФОРМАЦІЇ

Проведено аналіз існуючих методів реплікації інформації в розподілених базах даних, виявлено їх переваги та недоліки. У статті набув подальшого розвитку метод визначення цінності і старіння інформації, завдяки введенню критерію ефективності роботи системи. Вперше запропоновано для реплікації баз даних використовувати метод, який ураховуватиме цінність і старіння інформації при реплікації даних з метою підвищення ефективності роботи інформаційної системи. Запропоновано впровадження розробленого методу реплікації як елементу Єдиної автоматизованої інформаційної системи митної служби України.

Проведен анализ существующих методов репликации информации в распределенных базах данных, выявлены их преимущества и недостатки. В статье получил дальнейшее развитие метод определения ценности и старения информации, благодаря введению критерия эффективности работы системы. Впервые предложено для репликации баз данных использовать метод, который будет учитывать ценность и старение информации при репликации данных с целью повышения эффективности работы информационной системы. Предложено введение разработанного метода репликации в качестве элемента Единой автоматизированной информационной системы таможенной службы Украины.

The analysis of existing methods of replication of the information in the distributed databases is examined. Their advantages and disadvantages are discovered. Owing to the introduction of criterion of the effective functioning of system a method of the definition of value and becoming obsolete information is analysis. For the first time it was offered to use a method for the replication of data base which will take into account value and becoming obsolete information for the improving effectiveness of the information system. The introduction of the developed method of replication is offered, as unit of the uniform automated information system of the customs service of Ukraine.

Ключові слова. Розподілені бази даних, реплікація, транзакції, якісно-кількісна характеристика інформації.

Вступ. З поширенням мереж і доступних невеликих комп'ютерних систем практично всі організації, а також Єдина автоматизована інформаційна система (ЄАІС) митної служби України більше не використовують централізоване збереження інформації в одній базі даних. Важливі дані, до яких потрібен доступ усіх користувачів, зазвичай розкидані серед безлічі баз даних, розташованих у різних фізичних місцях збереження. Щоб об'єднати можливості баз даних усіх митниць і дозволити всім користувачам звертатися до збереженої інформації, прийнято рішення застосовувати засоби Oracle, які називаються розподіленою базою даних і тиражуванням даних.

© **Б. І. Мороз, Л. В. Кабак, О. П. Буланій, 2009**

Розподілена база даних митної служби України для користувача має вигляд єдиної логічної бази даних, але насправді являє собою сукупність баз даних, розташованих на вузлах розподіленої бази даних (вузли – це комп'ютери або сервери, на яких встановлено програмне забезпечення СКБД та зберігаються дані). До даних на всіх вузлах можна одночасно звертатися і модифікувати їх, використовуючи мережу. Кожна база даних керується власною локальною СКБД. Усі сервери у розподіленій базі співпрацюють, щоб підтримувати погодженість глобальної бази даних.

Проблема реплікації (передачі даних між вузлами розподіленої системи) постає перед митною службою практично щодня. Зокрема, таке завдання може зустрітися під час передачі даних про проведення митного контролю на митницях та митних постах, відмітки про доставку товарів або тоді, коли деякий регулюючий орган митної служби веде набір довідників, кожен з яких обов'язково має бути в базі даних інших митних органів, що звітують перед ним. Уже сформувалися найбільш часто використовувані підходи до реалізації алгоритмів реплікації, а саме: метод алгоритмічного виявлення змін, метод виявлення змін за допомогою подвійного копіювання таблиць, метод проміжного рівня доступу до бази даних, метод виявлення змін за допомогою журналу транзакцій, метод виявлення змін за допомогою подій або тригерів та ін. [1–4]. Ці методи не позбавлені деяких недоліків, а саме: жоден з існуючих методів реплікації не враховує якісно-кількісні характеристики інформації, насамперед цінність, ціну і старіння.

Постановка завдання. Мета дослідження – аналіз існуючих методів реплікації інформації, виявлення переваг і недоліків та розробка нового методу, який можна буде використовувати у митній службі і який відповідатиме таким вимогам.

1. Мінімізація впливу на вже існуючі програмні комплекси і бази даних.
2. Мають виявлятися будь-які зміни у вузлах розподіленої бази даних.
3. Система повинна бути ефективною, такою, що масштабується, і мати прогнозовані витрати при розширенні.
4. Записи, що зберігаються, не повинні дублюватися частково або повністю.
5. Система не повинна зберігати довгі ланцюжки змін у базі. Вона має бути ефективною навіть на дуже великій кількості записів.
6. Система має бути досить автономною.
7. Система повинна однаково добре функціонувати на абсолютно різних платформах.
8. Урахування якісно-кількісних характеристик інформації, що передається, для побудови оптимальної черги транзакцій та підвищення ефективності функціонування системи реплікацій.

Результати дослідження. Існуючі системи реплікації поділяються за принципами встановлення з'єднання на системи з чергою повідомлень і системи зі встановленням з'єднання [1].

Системи з чергою повідомлень накопичують зміни у вигляді повідомлень, які передаються в порядку “перший прийшов – перший пішов” у момент сеансу реплікації на видалений вузол. Зміни, що передаються при реплікації, можуть накопичуватися або у вигляді знімків даних, або безпосередньо в журналі транзакцій (тобто для накопичення змін не потрібні ніякі спеціальні засоби формування цього списку). Ці системи мають переваги: відсутність інтенсивних обчислень у момент передачі, процес захоплення змін рівномірно розподілений по всьому часу редагування бази даних, відсутність необхідності інтенсивного двостороннього обміну даними і, як наслідок, простота реалізації. Один вузол відправляє повідомлення, а інший проводить їх аналіз. Є й недоліки: можливе розростання черги повідомлень аж до перевищення нею розміру початкової таблиці, проблема відновлення видаленої копії після збою, неможливість проведення аналізу кількісно-якісних характеристик інформації, що передається.

Системи зі встановленням з'єднання орієнтовані на тісну взаємодію між вузлами в процесі реплікації. Цей спосіб, по суті, схожий на протокол TCP. Власне до моменту закінчення обміну даними відбувається багаторазовий обмін різною інформацією. Ці системи мають такі переваги: значне скорочення витрат на зберігання службової інформації, не потрібна модифікація існуючої бази даних, принаймні не змінюються існуючі таблиці, не потрібна постійна наявність адміністратора бази даних і контроль системи накопичення змін. Недоліки: виявлення змін відбувається вже протягом сеансу обміну даними, що означає додаткове обчислювальне навантаження, більшість методів синхронізації потребує наявності швидкого фізичного каналу передачі даних між вузлами системи.

Також у системах реплікації даних використовуються різні *методи виявлення змін*.

Метод 1. Алгоритмічне виявлення змін. Щоб система реплікації працювала коректно, потрібен відповідний алгоритм визначення даних, які необхідно передати між двома вузлами. Цей алгоритм – одна з ключових характеристик систем реплікації. Розглянемо різні алгоритми виявлення змін, що мають місце в системах реплікації митної служби. Тут розглядаються алгоритми, які в результаті своєї роботи гарантовано синхронізують дві бази даних (за умов штатної роботи системи і відсутності змін під час сеансу обміну даними). Повна передача таблиць є винятковою ситуацією виявлення змін, коли реально не відбувається ніяких змін, а таблиця передається цілком уже під час сеансу реплікації. Гіпотетично такий підхід може бути застосований тільки тоді, коли вузли пов'язані між собою дуже швидким каналом передачі даних. На практиці він майже не використовується через надто велику витрату ресурсів. Повна передача всієї таблиці має сенс тільки на початковому етапі взаємодії між вузлами, тобто на етапі створення видаленої копії. На рис. 1 показано просту схему цього алгоритму.

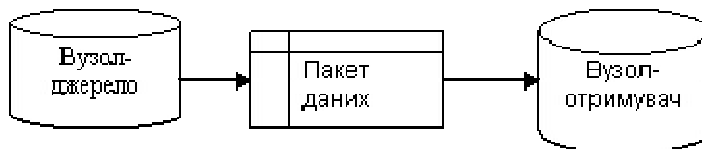


Рис. 1. Модель роботи системи з повною передачею таблиць

Переваги методу у простоті технічної реалізації. Недоліки: великі витрати ресурсів; неможливість аналізу кількісно-якісних характеристик інформації, що передається.

Метод 2. Виявлення змін за допомогою подвійного копіювання таблиць полягає в тому, що після кожного сеансу реплікації для кожної таблиці створюється копія (або у тій же базі, або на іншому носіїві). Ця копія не міняється до наступного сеансу реплікації. Таким чином, усі зміни, внесені до таблиці, можна отримати, порівнявши початкову таблицю та її копію (знімок). Приклад роботи такого алгоритму наведено на рис. 2. Переваги: не потрібно змінювати наявний програмний код і структуру бази даних; за допомогою такого підходу виявляються всі зміни, незалежно від того, якими засобами вони внесені. Недоліки: для кожної таблиці, що відстежується, зберігається її повна копія, що в загальному випадку подвоює обсяг даних; у разі збою на вузлі-джерелі відновлення має відбуватися за не цілком виправданим алгоритмом – повне

пересилання таблиці з подальшим аналізом даних, які дійсно потребують оновлення; неврахування якісно-кількісних характеристик передачі для оптимальної реплікації.

Метод 3. *Проміжний рівень доступу до бази даних* є додатковим програмним прошарком між рівнем логіки управління і рівнем доступу до бази даних. Таким чином, разом із записом змін у таблицю, яка відстежується, цей проміжний рівень здійснює запис і в чергу змін. На рис. 3 показано одну з можливих реалізацій такого методу.

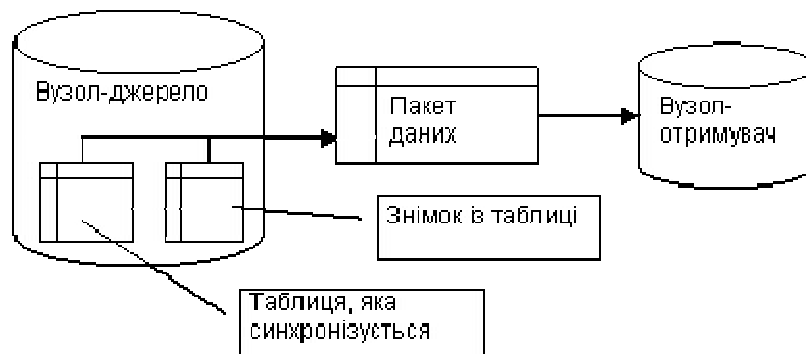


Рис. 2. Модель роботи системи з подвійним копіюванням таблиць

Переваги: не потрібно вносити зміни до існуючої схеми бази даних, а такі умови часто ставляться перед розробниками; має технологічну можливість формування черги змін з урахуванням якісно-кількісних характеристик інформації. Недоліки: можуть знадобитися значні витрати при впровадженні проміжного рівня доступу до бази даних, якщо навіть початкове застосування було правильно спроектоване; не відстежуються зміни, які виконуються програмними засобами, що не використовують цей проміжний рівень доступу. Необхідність у цьому виникає, коли, наприклад, довідкова інформація міняється як із основного застосування, так і з множини допоміжних програмних засобів.

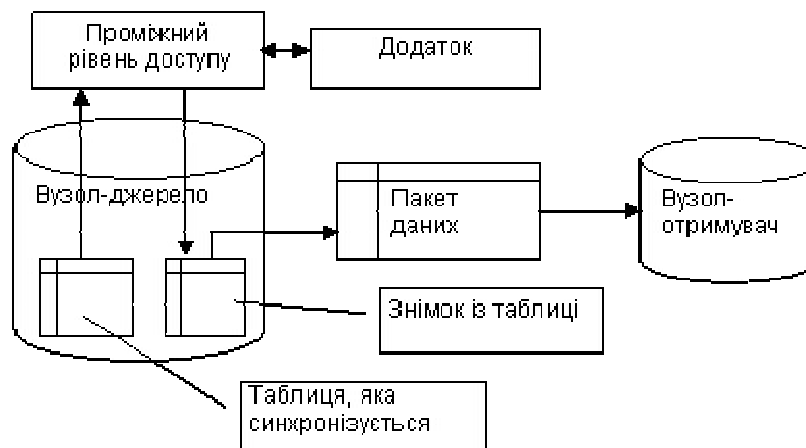


Рис. 3. Модель роботи системи з проміжним рівнем доступу до бази даних

Метод 4. *Виявлення змін за допомогою журналу транзакцій*. Система реплікації відстежує зміни в журналі транзакцій бази даних і або формує нову чергу змін, або використовує сам журнал транзакцій для формування списку змін. Схему роботи цього алгоритму зображено на рис. 4.

Переваги: не потрібно вносити зміни до існуючої схеми бази даних; відсутня залежність від програмного засобу, використаного для внесення змін.

Недоліки: різна архітектура журналу транзакцій, архітектура цього журналу різна не лише в СУБД різних постачальників, але і в СУБД різних версій від одного постачальника; неможливість оцінки якісно-кількісних характеристик інформації для оптимальної реплікації.

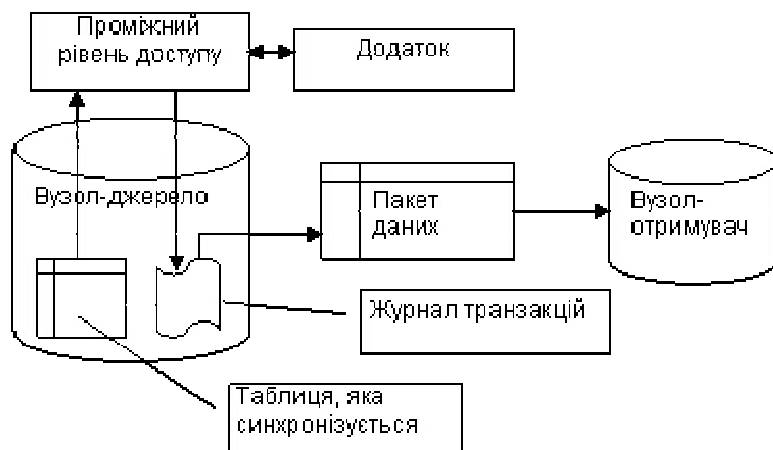


Рис. 4. Модель роботи системи з виявленням змін за допомогою журналу транзакцій

Метод 5. *Виявлення змін за допомогою подій або тригерів.* Система відстежує кожну зміну, що виконується в базі даних за допомогою подій, які прив'язані до кожного виду команд (вставити, змінити, видалити). Перевага – робота з програмами сторонніх розробників. Це означає, що зміна, зроблена в таблиці, яка модифікується, будь-яким програмним засобом, буде врахована.

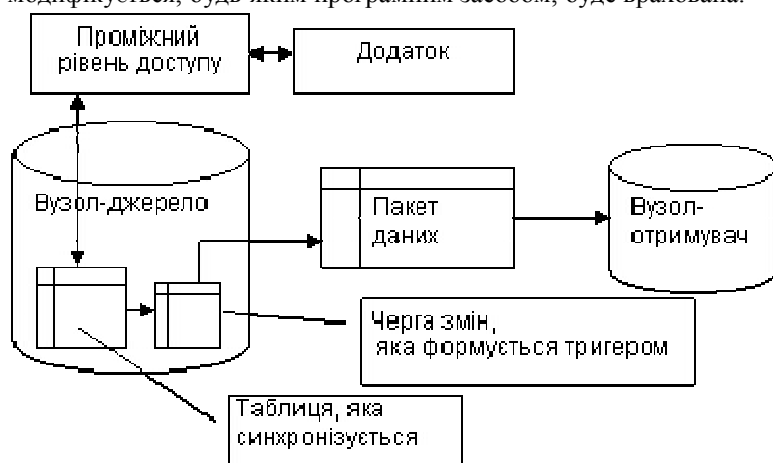


Рис. 5. Модель роботи системи, що ґрунтується на аналізі подій

Недоліки: потрібна підтримка механізму тригерів (подій), що не завжди реалізовано в СУБД для персонального використання; потрібна модифікація існуючої структури бази даних, що особливо складно, якщо механізм тригерів уже був задіяний для інших цілей (доводиться об'єднувати код старих тригерів із новим); не можна проводити автоматичну повну синхронізацію даних (передачу таблиць цілком, якщо таблиці на вузлі, що синхронізується, порожні); можливе сильне розростання існуючої бази даних за рахунок зберігання додаткових даних. На рис. 5 наведено приклад реалізації цього методу.

Метод 6. *Виявлення змін за допомогою контрольних таблиць,* на перший погляд, схоже на метод подвійного копіювання таблиць. Для кожної таблиці, яка реплікується, заводиться додаткова (контрольна) таблиця, в якій для кожного запису зазначається певна контрольна інформація, що включає час зміни даних, а також джерело оновлення. Час зміни для кожного запису оновлюється автоматично за допомогою тригерів. Абсолютно необхідним для цієї операції стає тригер на оновлення. Тригери на створення і на видалення не обов'язкові, проте їх наявність дозволить уникнути використання додаткових засобів для очищення контрольних таблиць від інформації про видалені записи і дасть можливість отримувати точніші дані про час внесення змін. Цей метод – поліпшений варіант методу тригерів або подій, він має такі ж переваги та недоліки. Плюс цього методу в тому, що він не створює необмежено зростаючої черги подій.

Метод 7. *Імовірнісне виявлення змін.* У даному випадку розглядаються методи виявлення змін, які не гарантують зведення баз у синхронізований стан упродовж одного сеансу реплікації. Проте алгоритми, використовувані в цих системах, дозволяють знизити витрати окремих типів ресурсів. Розглянемо ці алгоритми докладніше. Аналіз вірогідності зміни наводиться у [2].

На рис. 6 зображено спрощену схему роботи цього алгоритму. Перевага – не потрібна модифікація бази даних вузла джерела. Вузол-джерело можна взагалі не повідомляти, що він бере участь у деякій системі реплікації.

Недоліки: відсутність гарантії синхронізованого стану баз даних після закінчення сеансу реплікації; неврахування якісно-кількісних характеристик для оптимальної реплікації.

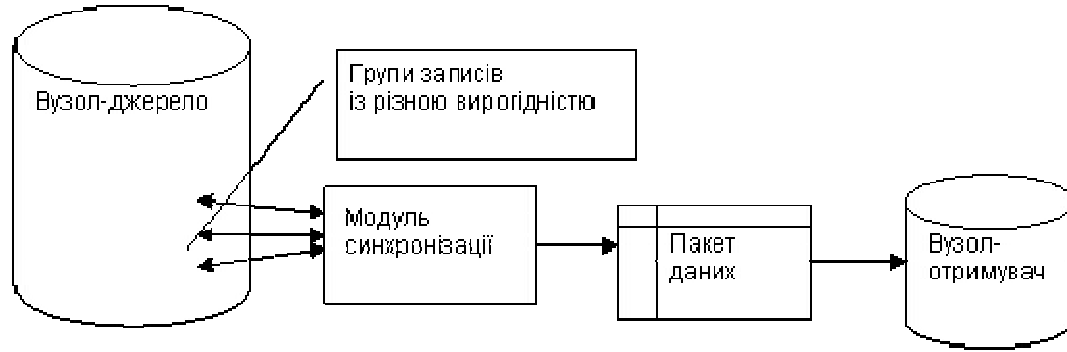


Рис. 6. Модель роботи системи, яка ґрунтується на аналізі вірогідності зміни груп записів

Метод 8. *Аналіз змін представників груп*, як і попередній метод, був запропонований у [3] як спосіб оптимізувати алгоритми синхронізації баз пошукових систем мережі Інтернет. Як і в попередньому методі, об'єктом синхронізації є сторінка веб-сайту. Розглянемо, чи можна в ролі такого об'єкта використовувати просто запис у таблиці. Всі об'єкти об'єднуються в деяку групу за певною ознакою. Для веб-сторінок цією ознакою стає належність до одного сайту. Для записів бази даних необхідно виділяти цю ознаку, виходячи з припущення про одночасну зміну цих записів. Наприклад, у погано нормалізованих базах можлива ситуація, коли зміна одного запису спричиняє зміну великої кількості підпорядкованих записів. На етапі синхронізації для кожної групи обирається представник, тобто об'єкт, що підлягає безумовній передачі каналом зв'язку. Якщо цей об'єкт змінений, то вся група об'єктів визнається зміненою і підлягає безумовній передачі по каналу зв'язку.

Основна проблема під час реалізації цього алгоритму – правильний вибір ознаки, що групується. Використовувати його можна також у досить специфічних випадках: бази, в яких можливе групування об'єктів за такою ознакою, з'являються або в результаті поганого проектування, або у випадках, подібних до баз пошукових систем (коли існує неявний зв'язок між різними об'єктами). Переваги і недоліки цього методу такі ж, як і методу 7.

Метод 9. Методи реплікації баз даних, які були розглянуті, використовуються нині, їх основний недолік полягає в тому, що вони не враховують якісно-кількісних характеристик інформації. Основною якісною характеристикою інформації, що може бути використана для оптимізації реплікацій розподілених баз даних у митній службі України, є цінність інформації. Тому пропонується розробка *методу реплікації баз даних з урахуванням якісно-кількісних характеристик інформації*.

Розглянемо основні проблеми визначення цінності інформації. Найважливіше питання теорії інформації – встановлення міри кількості та якості інформації. Інформаційні міри визначаються за такими основними напрямками: структурним, статистичним, семантичним і прагматичним.

Цінність і старіння інформації оцінюються з різних позицій і визначаються по-різному. Слушно підкреслюють, що цінність інформації нерозривно пов'язана з її старінням, проте ці фактори враховуються зовсім по-різному. Закон зміни старіння інформації інтерпретується як закон зміни цінності інформації в часі. Цим і визначається взаємозв'язок характеристик цінності і старіння. Підкреслимо суттєвий момент: взаємозв'язок цінності і старіння інформації в даному випадку визначено, але при цьому фактично зникають цінність і старіння інформації як самостійні й незалежні одне від одного поняття. Даний підхід до визначення цінності і старіння інформації та їх взаємозв'язку суперечить сформульованим законам інформації. Відповідно до цих законів цінність інформації визначається залежно від мети її отримання, а старіння – як рівень відхилення матеріального явища від інформації, що відображає це матеріальне явище. Отже, цінність однієї й тієї ж інформації для різних цілей використання буде різною, а характеристика “відходу” інформації від свого первісного (відображуваного) базису, тобто старіння, не залежить від цілей використання інформації, хоча під час її обробки з різними цілями кількісно старіння інформації може враховуватися по-різному. Це свідчить, що визначення цінності і старіння інформації та їх взаємозв'язку відповідно до першого підходу фактично неправильне. Треба не поєднувати поняття цінності і старіння інформації, а розглядати їх як самостійні характеристики. Однак не встановлюється, що взаємозв'язок цінності інформації та її старіння визначається як рівень відходу матеріального явища від свого первісного значення [5].

Суть методу полягає в такому: за допомогою імітаційної моделі перебираються можливі стани системи в деякий момент часу. Для кожного стану виробляється оцінка значення критерію ефективності функціонування системи в наступний момент часу. Для цього використовується модель керованого об'єкта й алгоритм прийняття рішень щодо керування об'єктом. Керування об'єктом здійснюється на підставі значень вихідних величин системи. Значення критерію ефективності системи визначається для двох випадків:

а) рішення про керування об'єктом приймається за наявності інформації, що міститься у вихідних величинах, про стан об'єкта;

б) у разі відсутності такої інформації.

Цінність інформації визначається як різниця між значеннями критерію ефективності функціонування системи для двох зазначених випадків.

Реалізація методу здійснюється табличним способом. Для цього область припустимих значень вихідних величин об'єкта керування розбивається на деяку скінченну множину в загальному випадку нерівних підобластей. Цінність інформації визначається на межах підобластей. Як цінність інформації, що відповідає кожній з підобластей, береться середнє значення про цінності інформації на межах цих підобластей. При керуванні в реальному режимі часу таблиці цінностей інформації для кожної з підобластей зберігається в оперативній пам'яті керуючої ЕОМ. Значення цінності інформації з цієї таблиці вибираються табличним автоматом залежно від значення самої інформації.

Нехай система керування описується лінійними різницевиими рівняннями у векторно-матричному записі:

$$\begin{cases} X_{k+1} = \Theta_{k+1} X_k + \Psi_{k+1} u_k + \Omega_{k+1} f_k, \\ Y_k = \Gamma X_k + E H_k. \end{cases} \quad (1)$$

де $x_k = [x_{k1}, x_{k2}, x_{k3}, \dots, x_{kn}]$ – вектор стану;

$u_k = [u_{k1}, u_{k2}, u_{k3}, \dots, u_{kn}]$ – вектор керування;

$f_k = [f_{k1}, f_{k2}, f_{k3}, \dots, f_{kn}]$ – вектор зовнішніх збурень;

$h_k = [h_{k1}, h_{k2}, h_{k3}, \dots, h_{kn}]$ – вектор перешкод;

$y_k = [y_{k1}, y_{k2}, y_{k3}, \dots, y_{kn}]$ – вектор виходу;

Θ – власна параметрична матриця системи;

Ψ – вхідна матриця системи;

Ω – матриця координат зовнішніх збурень;

Γ – матриця виходу;

E – матриця координат перешкод;

$t_k = k\Delta t$;

Δt – величина кроку дискретизації;

k – номер моменту часу $k = \overline{1, K}$;

$t_0 = 0, t_k = K$;

$X_{ki}, U_{ki}, F_{ki}, H_{ki}, Y_{ki}$ – області припустимих значень i -х компонентів відповідних векторів у k -й момент часу. Областями припустимих значень векторів x_k і y_k будемо вважати області, при яких функціонування системи з погляду досягнення поставленої мети ще можливе.

Якість функціонування системи характеризується критерієм ефективності:

$$I_k = \rho(x_k, u_k), \quad k = \overline{1, K}, \quad (2)$$

де k – номер моменту часу, в який здійснюється деякий крок керування системою.

Відповідно до мети керування значення вектора x_k на ділянці часу $\overline{1, K}$ вибираються з усіх варіантів можливих значень x_k , щоб критерій I_k досягав екстремуму. Для цього на кожному кроці керування системою повинні бути обрані відповідні значення вектора керування x_k на підставі вектора виходу y_k .

Нехай є імітаційна модель системи керування, що дозволяє моделювати процес функціонування системи за кроками. Припустимо, що на деякому кроці керування (у $k-1$ -й момент часу) на підставі вектора виходу y_{k-1} було обрано керування u_k , що привело систему в стан x_k з певним значенням критерію I_{k+1} . На наступному кроці (у k -й момент часу) вибирається керування u_k за умови $u_k \neq \emptyset$, що приведе систему в стан x_{k+1} з новим значенням I_{k+1} . Вираз $y_k \neq \emptyset$ означає, що в систему надходить інформація про дійсні значення всіх компонентів вектора виходу y_k . Таким чином, на кожному кроці керування критерій одержує збільшення $\Delta I_{k+1} = I_{k+1} - I_k$. Якщо в k -й момент часу відсутня інформація про дійсні значення вектора виходу, тобто $y_k = \emptyset$, то керування u_k вибиратимемо відповідно до алгоритму прийняття рішень у системі на підставі y_{k-1} або y_{k+1} і u_{k-1} або u_{k+1} і всієї передісторії зміни вектора y_k і т. д. Прийняте у цьому випадку значення y_k , на основі якого вибиратиметься керування, називатимемо прогнозованим значенням y_{nk} , на відміну від дійсного значення y_k . Різницю між дійсним і прогнозованим значеннями векторів y_k в k -й момент часу називатимемо збільшенням вектора y_k :

$$\Delta y_k = y_k - y_{nk}. \quad (3)$$

Зазначене стосується будь-якого i -го компонента вектора y_k :

$$\Delta y_k = y_{ki} - y_{nki}. \quad (4)$$

При цьому обране керування u_k може привести систему до необхідного значення збільшення ΔI_{k+1} тільки в тому випадку, коли дійсне значення вектора y_k дорівнює прогнозованому y_{nk} . При $y_k \neq y_{nk}$ критерій I_{k+1} матиме збільшення ΔI_{k+1} , що відрізняється від ΔI_k .

Цінність інформації вектора виходу в k -й момент часу визначається виразом

$$Ц(y_k) = \Delta I_{k+1} - \Delta I'_{k+1}. \quad (5)$$

Тут

$$\Delta I_{k+1} = I_{k+1} - I_k; \quad (6)$$

$$\Delta I'_{k+1} = I'_{k+1} - I'_k, \quad (7)$$

де I_k – значення критерію ефективності системи в k -й момент часу;

I_{k+1} – значення критерію ефективності системи в $k + 1$ -й момент часу за наявності інформації про всі компоненти вектора y_k ;

I'_{k+1} – значення критерію ефективності системи в $k + 1$ -й момент часу за відсутності інформації про всі компоненти вектора y_k . Підставивши (6) і (7) у (5), матимемо:

$$Ц(y_k) = I_{k+1} - I'_{k+1}. \quad (8)$$

Іншими словами, у виразі (8) визначається цінність інформації про збільшення вектора y_k в k -й момент часу.

Проте нас цікавить цінність інформації, що міститься в кожному i -му компонентів вектора y_k .

Здійснюючи імітаційне моделювання функціонування системи, зафіксуємо на деякому k -му кроці значення всіх, крім i -го, компонентів вектора y_k на рівні їх прогнозованих значень, тобто:

$$y_k = [y_{nk1}, y_{nk2}, y_{nk3}, \dots, y_{nkp}]. \quad (9)$$

Тоді цінність інформації, що міститься в i -му компонентів вектора y_k , можна визначити за формулою

$$Ц(y_{ki}) = I_{nk+1} - I'_{nk+1}, \quad (10)$$

де I_{nk+1} – значення критерію ефективності системи в $k + 1$ -й момент часу при прогнозованому значенні всіх, крім i -го, компонентів вектора y_k , при довільному значенні з області припустимих значень; ΔY_{ki} – збільшення Δy_{ki} за умови наявності в системі інформації про дійсне значення i -го компонента вектора y_k ;

I'_{nk+1} – значення критерію ефективності системи в $k + 1$ -й момент часу при прогнозованих значеннях усіх компонентів вектора y_k і за умови відсутності в системі інформації про дійсне значення i -го компонента вектора y_k .

Збільшення Δy_{ki} може змінюватися в межах

$$\Delta y_{\min ki} < \Delta y_{ki} < \Delta y_{\max ki}, \quad (11)$$

$$\Delta y_{\min ki} = y_{\min ki} - y_{\max ki}, \quad (12)$$

$$\Delta y_{\min ki} = y_{\max ki} - y_{\min ki}, \quad (13)$$

де $y_{\min ki}$ та $y_{\max ki}$ – відповідно мінімальне та максимальне значення області Y_k припустимих значень i -го компонента в k -й момент часу, тобто:

$$Y_{ki} = \overline{y_{\min ki}, y_{\max ki}} \quad (14)$$

Фіксація всіх, крім i -го, компонентів вектора y_k відбувається з метою виключення впливу цих компонентів на різницю значень критерію ефективності системи.

Цінність інформації слід визначати у зв'язку з метою, для якої вона використовується, а також вважати змінною в часі. Справді, якщо генерація інформації відбулася задовго до моменту її використання, то можна вважати, що в момент часу t цінність її менша максимальної. З іншого боку, коли обробляти й використовувати її вже пізно, цінність стає нульовою, тобто враховувати таку інформацію при управлінні об'єктом вже не можна. Отже, між моментом генерації інформації (повідомлення) і моментом, коли вона втрачає свою цінність, має існувати момент, коли вона здобуває максимум цінності.

Таким чином, виникають три питання:

- Який максимум інформації в абсолютних або відносних одиницях?
- Де він розташований на осі часу?
- Як змінюється цінність інформації по обидва боки від нього?

Значення максимуму цінності інформації можна визначити через збиток, завданий об'єктові, якщо інформація взагалі не буде оброблена й використана. Він може бути виражений як в абсолютних, так і у відносних одиницях. При цьому можна скористатися математичними моделями об'єктів і методами експертних оцінок. Сполучення обох методів дає досить достовірні дані при правильно побудованих шкалах і процедурах опитування. Для дуже широкого класу об'єктів може бути знайдена імовірність досягнення мети залежно від якого-небудь фактора (зокрема, від часу використання інформації, рис. 7) і побудованого інтегрального закону розподілу $F(t)$ – імовірності досягнення мети залежно від моменту використання інформації.

$$\begin{cases} 1, & \text{при } t < t_k; \\ P(t), & \text{при } t_k < t < T_k, \end{cases} \quad (15)$$

де t_k – момент максимуму цінності повідомлення;

T_k – момент часу, коли цінність повідомлення стає рівною нулеві;

$$P(t) = I_\phi(t) / I_n;$$

$I_\phi(t)$ і I_n – фактичне значення критерію ефективності системи при використанні інформації в момент часу t і планове, відповідно.

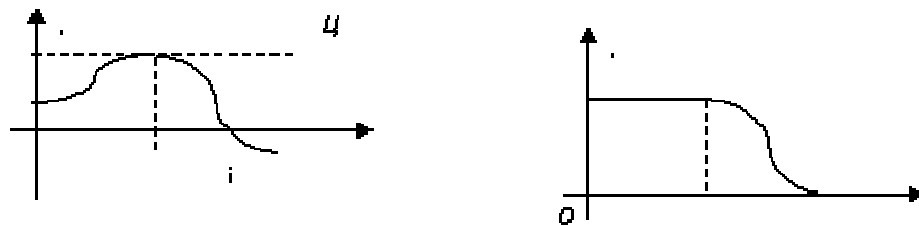


Рис. 7. Криві: а) залежностей інтегрального закону розподілу імовірності досягнення мети; б) зміни цінності інформації в часі

Зазначимо, що формула правдива лише для випадку максимізації критерію ефективності системи. Однак у випадку його мінімізації можна також отримати аналогічну залежність.

У момент часу $t = 0$ повідомлення генерується об'єктом. До моменту $t = t_k$ імовірність того, що повідомлення буде оброблене й використане та об'єкт від його запізнення не зазнає втрат, близька до одиниці. З моменту часу $t = t_k$ імовірність досягнення мети починає падати і до моменту T_k практично дорівнює нулеві. Логічно припустити, що в останній момент $t = t_k$, коли імовірність досягнення мети об'єктом ще залишається близькою до одиниці, цінність повідомлення здобуває максимум, а до моменту T_k вона стає рівною нулеві. Природно вважати, що на інтервалі $[t_k, T_k]$ цінність повідомлення падає за тим самим законом, що й імовірність досягнення мети об'єктом.

Таким чином, ми визначили максимум цінності повідомлення і закон її спадання на інтервалі $[t_k, T_k]$. Залишається з'ясувати, як змінюється $C(t)$ на інтервалі $[0, t_k]$. Передбачити чітку формалізацію важко, однак правдоподібно розуміння, що цінність повідомлення має зростати від моменту $t = 0$ до моменту $t = t_k$. У першому наближенні можна взяти, що оскільки $C(t)$ падає від максимуму до нуля за час $[t_k, T_k]$, то й на відрізку $[0, t_k]$ вона повинна змінюватися пропорційно до відношення цих відрізків часу.

Зміну цінності інформації в часі можна визначити за формулою [5]:

$$C(t) = \begin{cases} C_{max} \frac{T_k - t_k}{T_k - t}, & \text{при } 0 \leq t \leq t_k \\ C_{max} F(t), & \text{при } t_k < t \leq T_k \end{cases} \quad (16)$$

Формула (14), як і формула (15), дає лише принцип визначення цінності. Проте абсолютно очевидно, що, реалізуючи обговорені вище моделі об'єктів, можна визначити цінність різних класів інформації. Підкреслимо, моделі повинні дозволяти визначення $C_{max}, t_k, T_{kmax} F(t)$.

Взаємозв'язок цінності і старіння має, на наш погляд, установлювати вимоги на раціональну організацію обробки й використання інформації. З рис. 7 видно, що точка на часовій осі є найбільш раціональною для реалізації мети використання. Це точка з максимальною цінністю інформації, і саме до цього моменту слід виконати всі необхідні операції інформаційного процесу (передача, обробка та ін.).

Запропонований метод застосовується для визначення цінності поточної інформації, тобто в загальному випадку використання інформації про значення вихідних величин, зовнішніх збурень і змінних параметрів системи. Принцип роботи системи з урахуванням критеріїв цінності і старіння інформації відображається на рис. 8.

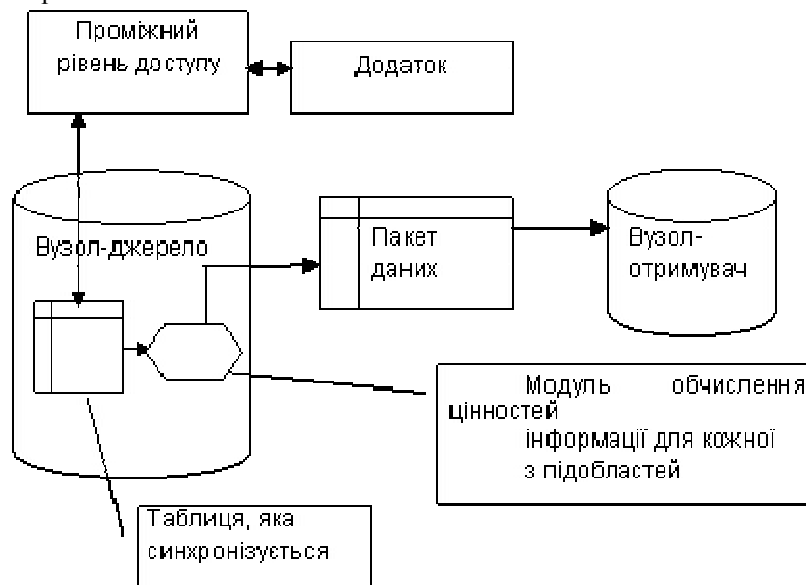


Рис. 8. Модель роботи системи з урахуванням критеріїв цінності і старіння інформації

Висновки. У результаті проведеного дослідження проаналізовано існуючі методи реплікації інформації в розподілених базах даних і виявлено їх переваги та недоліки. Набув подальшого розвитку метод визначення цінності і старіння інформації завдяки уведенню критерію ефективності роботи системи. Вперше запропоновано для реплікації баз даних використовувати метод, який урахуватиме цінність і старіння інформації при реплікації даних з метою підвищення ефективності роботи інформаційної системи.

Отримані результати можуть бути впровадженні як елемент ЄАІС митної служби України, що дозволить підвищити якість функціонування інформаційної системи, яка ґрунтується на базі розподілених баз даних.

Література

1. Date C. J. An Introduction to Database Systems [Text] / C. J. Date. – Reading, Mass. : Addison-Wesley, 1984. – V. 1. 4th ed. – 639 с.
2. Stonebraker M. Performance Enhancements to a Relational Database System [Text] / M. Stonebraker, L. Woodfil, J. Ranstrom, M. Murphy, M. Meyer, E. Allman // ACM Trans. Database Syst. – 1983. – № 2. – С. 189–222.
3. Роб П. Системы баз данных: проектирование, реализация и управление [Текст] / П. Роб, К. Коренел : пер. с англ. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 1040 с.
4. Tridgell A. The Rsync Algorithm. Technical Report TR-CS-96-05, Department of Computer Science [Text] / A. Tridgell, P. Mackerras. The Australian National University. – Canberra, Australia, 1996.

5. Мороз Б. І. Методи раціональної організації обробки інформації в системах передачі даних [Текст] / Б. І. Мороз, В. П. Дюбко. – Дніпропетровськ, 2007.