TAQSIMLANGAN TIZIMLARDA MA'LUMOTLAR FRAGMENTATSIYASI VA REPLIKATSIYASINI OPTIMALLASHTIRISH

DADAMUXAMEDOV ALIMJON IRGASHEVICH
O'zbekiston xalqaro islom akademiyasi Zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalari kafedrasi katta o'qituvchisi.
ORCID - 0009-0002-5678-701X
e-mail: chinororg@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada taqsimlangan tizimlarda dinamik replikatsiya va kechikishni optimallashtirishga qaratilgan algoritmik yondashuvlar tahlil qilinadi. Ma'lumotlar bazalarining samaradorligini oshirish maqsadida jadvallarni fragmentatsiyalash (gorizontal, vertikal va aralash) va ularni tugunlarga joylashtirish usullari bayon etiladi. Shuningdek, replikatsiya, yuk balanslash, so'rovlarni optimallashtirish va tranzaksiyalarni boshqarish mexanizmlari ko'rib chiqiladi. Tizimning ishonchliligi va uzluksiz ishlashi uchun nosozliklarga chidamlilikni ta'minlovchi strategiyalar ham taqdim etilgan. Umumiy optimallashtirish modeli orqali yuqoridagi barcha omillar muvofiqlashtiriladi. Ushbu yondashuvlar taqsimlangan ma'lumotlar bazalarining barqaror va samarali ishlashiga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: Taqsimlangan tizimlar, ma'lumotlar bazasi, fragmentatsiya, replikatsiya, yuk balanslash, kechikishni optimallashtirish, tranzaksiya boshqaruvi, so'rovlarni optimallashtirish, klasterlash, ACID prinsiplari, nosozliklarga chidamlilik, optimizatsiya algoritmlari

Annotation. This article analyzes algorithmic approaches aimed at optimizing dynamic replication and latency in distributed systems. To enhance the efficiency of database management, the paper outlines methods for fragmenting tables (horizontal, vertical, and hybrid) and allocating them across system nodes. Additionally, mechanisms for replication, load balancing, query optimization, and transaction management are examined. Strategies for ensuring fault tolerance are also proposed to support system reliability and continuous operation. A unified optimization model is introduced to coordinate all these components. The proposed approaches contribute to the stable and efficient functioning of distributed database systems.

Keywords: Distributed systems, database, fragmentation, replication, load balancing, latency optimization, transaction management, query optimization, clustering, ACID principles, fault tolerance, optimization algorithms

ISSN 3030-3907

Аннотация. В данной статье анализируются алгоритмические подходы, направленные на оптимизацию динамической репликации и задержек в распределённых системах. С целью повышения эффективности работы баз данных рассматриваются методы фрагментации таблиц (горизонтальной, вертикальной и гибридной) и их размещения на узлах системы. Также освещаются механизмы репликации, балансировки нагрузки, оптимизации запросов и управления транзакциями. Представлены стратегии обеспечения отказоустойчивости для поддержания надёжности и непрерывной работы системы. Посредством единой модели оптимизации координируются все вышеуказанные факторы. Предложенные подходы способствуют стабильной и эффективной работе распределённых баз данных.

Ключевые слова: Распределённые системы, база данных, фрагментация, репликация, балансировка нагрузки, оптимизация задержек, управление транзакциями, оптимизация запросов, кластеризация, принципы ACID, отказоустойчивость, алгоритмы оптимизации

KIRISH. Zamonaviy taqsimlangan axborot tizimlarida ma’lumotlar bazasining ishlash samaradorligi, ishonchliligi va uzluksizligi eng muhim operatsion talablardan biri hisoblanadi. Ma’lumotlar hajmining keskin ortib borayotgani, so‘rovlar oqimining ko‘p yo‘nalishli va yuqori chastotali xarakterga ega bo‘lishi, shuningdek, real vaqtli ishlov berishga bo‘lgan ehtiyojlarning kuchayishi natijasida markazlashtirilgan arxitekturalar o‘z funksional imkoniyatlari bilan cheklanishga uchramoqda. Shu sababli, so‘nggi yillarda taqsimlangan ma’lumotlar bazalarini loyihalash va optimallashtirish masalalari IT infratuzilmaning strategik komponentiga aylangan.

Taqsimlangan tizimlarda ma’lumotlarning fragmentatsiyasi va replikatsiyasini optimallashtirish zamonaviy axborot texnologiyalarida muhim amaliy va nazariy ahamiyat kasb etuvchi masalalardan biri hisoblanadi. Ma’lumotlarni samarali boshqarish uchun ularni fragmentlarga ajratish hamda nusxalash (replikatsiya qilish) orqali tarmoq yuklamasini kamaytirish, so‘rovlarni qayta ishlash tezligini oshirish va tizim ishonchliligini ta’minlash mumkin bo‘ladi. Ushbu optimallashtirish jarayonida fragmentlarni optimal joylashtirish, replikatsiya darajasini boshqarish va tarmoq resurslarini tejamkor tarzda ishlatish kabi masalalarni hal etish talab qilinadi. Shu sababli mazkur yo‘nalishda ilg‘or algoritmlar va yondashuvlarni ishlab chiqish dolzarb ahamiyat kasb etmoqda.

Bunday tizimlarda ma’lumotlarni parchalab saqlash (fragmentatsiya), ularni ko‘p sonli tugunlar orasida samarali tarzda joylashtirish va kerakli darajada replikatsiya qilish nafaqat texnik ehtiyoj, balki tizimning barqaror ishlashini

ISSN 3030-3907

ta’minlovchi muhim omillardandir. Shu bilan birga, tugunlararo yuk muvozanatini ushlab turish, kechikishni minimallashtirish, tranzaksiyalarni izchil boshqarish va nosozliklardan tez tiklanishni ta’minlash singari mexanizmlar birgalikda qaralishi lozim bo‘lgan murakkab optimallashtirish muammosini yuzaga keltiradi.

Mazkur tadqiqot aynan ushbu integrallashgan muammolarni hal qilishga qaratilgan bo‘lib, unda ko‘pmezonli yondashuv asosida samarali replikatsiya, fragmentatsiya va tugunlararo so‘rov muvofiqlashtirish algoritmlari ishlab chiqiladi. Taklif etilgan model yordamida tizim arxitekturasi bo‘yicha resurslardan optimal foydalanish, xizmat sifatini oshirish va ACID prinsiplari asosida izchillikni ta’minlash imkoniyatlari yaratiladi.

Ushbu maqolaning ilmiy yangiligi taqsimlangan tizimlarda ma’lumotlarni fragmentatsiyalash, replikatsiya qilish va tugunlararo joylashtirish masalalarini yagona ko‘p mezonli optimallashtirish modeli orqali integrallashgan holda yechishda namoyon bo‘ladi. Bunda taklif etilgan algoritmlar fragmentlarni tugunlarga optimal joylashtirish, replikatsiya darajasini samarali boshqarish, yukni balanslash va so‘rovlarni qayta ishlash vaqtini minimallashtirish imkonini beradi. Ishda ishlab chiqilgan yondashuv an’anaviy modellardan farqli ravishda fragmentatsiya va replikatsiyani tizim talablari asosida dinamik tarzda boshqarishga imkon yaratadi hamda nosozliklarga chidamlilikni ta’minlash mexanizmlari bilan to‘ldirilgan.

Taqsimlangan ma’lumotlarni qayta ishlash jarayonlarining samaradorligini maksimal darajaga yetkazish maqsadida ma’lumotlar bazasi jadvallarini mayda bo‘laklarga ajratish (fragmentatsiya) va hosil bo‘lgan qismlarni tizimning turli tugunlariga eng maqbul shaklda taqsimlash muhim o‘rin tutadi. Ushbu masala yuzasidan olib borilgan tadqiqotlarda jadvallarni qanday qilib bo‘lish, ularni taqsimlash va replikatsiya qilishni optimallashtirish bo‘yicha turli algoritmik yondashuvlar ishlab chiqilgan. Qolaversa, taqsimlangan ma’lumotlar bazasini loyihalashning ilk bosqichlarida tanlanadigan metodlar taqsimlangan ma’lumotlar bazalarining umumiy ishlash samaradorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatishi ta’kidlanadi [2].

ADABIYOTLAR TAHLILI. Katta hajmdagi tarqatilgan ma'lumotlar bazalarida samarali replikatsiya strategiyalarining ahamiyatini ta’kidlaydi. Replikatsiyaning asosiy maqsadi ma’lumotlar mavjudligi va nosozliklarga bardoshliligini ta’minlash bo‘lib, bu jarayonda sinxron va asinxron usullar qo‘llaniladi. Sinxron replikatsiya izchillikni kafolatlagani bilan kechikishga olib keladi, asinxron esa tezlikni oshiradi, biroq ma’lumotlar nomuvofiqligi xavfini tug‘diradi [1].

ISSN 3030-3907

Ma’lumotlarning bir nechta nusxalarini turli joylarda saqlash orqali tizim samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. Ma’lumotlar kerak bo‘lganda eng yaqin nusxadan olinadi, bu kechikishlarni kamaytiradi. Replika joylashtirish strategiyasini boshqarishda uchta asosiy muammo mavjud: qachon replika yaratish, qaysi fayllarni nusxalash va ularni qayerda saqlash. Shu bilan birga, ishlatilgan baholash vositalari va mavjud muammolar ham o‘rganilib, kelajakdagi tadqiqotlar uchun foydali yo‘nalishlar taqdim etiladi [2].

Ushbu maqolada taqsimlangan tizimlarda ma’lumotlarni replikatsiya qilishning ahamiyati va uning tizimning ishonchliligi hamda barqarorligini ta’minlashdagi muhim o‘rni ilmiy jihatdan asoslangan holda tadqiq qilinadi. Tadqiqotning asosiy e’tibori ma’lumotlarni replikatsiya qilish texnologiyalarini o‘rganishga, ularning tarmoq infratuzilmasiga ko‘rsatadigan ta’siriga va ma’lumotlarni yo‘qotish ehtimolini kamaytirish imkoniyatlariga qaratilgan. Maqolada, xususan, quyidagi jihatlar batafsil ko‘rib chiqiladi: replikatsiyaning mavjud usullari va ularning taqsimlangan tizimlarda bajaradigan vazifalari, tizim ishonchliligini oshirish uchun qo‘llaniladigan ko‘p nusxali saqlash strategiyalari, ma’lumotlarni sinxron va asinxron replikatsiya qilishning afzalliklari va cheklovlari, shuningdek, tarmoqdagi kechikishlar va yuklanishni kamaytirishga qaratilgan algoritmik yondashuvlar. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, samarali ishlab chiqilgan replikatsiya algoritmlarini qo‘llash tizim nosozliklariga chidamlilikni oshirish, tarmoq yukini optimal tarzda muvozanatlash va tezkor so‘rovlarga samarali javob berishni ta’minlashda muhim ahamiyat kasb etadi [3].

Ushbu maqolada Big Data texnologiyalarining ilmiy va texnik sohalardagi ahamiyati, katta hajmdagi ma’lumotlarni samarali boshqarish usullari hamda axborot oqimlarini optimallashtirish strategiyalari chuqur tahlil qilingan. Tadqiqot davomida IoT qurilmalari, sensorli tarmoqlar va monitoring tizimlari orqali ma’lumotlarni yig‘ish texnologiyalari, mashinani o‘rganish, sun’iy intellekt va real vaqt rejimidagi tahlil usullari, shuningdek, bulutli hisoblash hamda taqsimlangan tizimlar orqali katta hajmdagi axborotni samarali boshqarishning zamonaviy yondashuvlari ko‘rib chiqilgan. Bundan tashqari, tadqiqotda ma’lumotlarni tarmoq orqali uzatish va saqlash jarayonlarini optimallashtirishga yo‘naltirilgan strategiyalar muhokama qilingan. Olingan natijalar taqsimlangan ma’lumotlar bazalari, fragmentatsiya va replikatsiya usullarining katta hajmdagi ma’lumotlarni qayta ishlashda markazlashtirilgan tizimlarga qaraganda samaraliroq ekanligini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, maqolada Hadoop, Spark va NoSQL kabi zamonaviy texnologiyalarning amaliy imkoniyatlari va afzalliklari yoritilib, ilmiy tadqiqotlar, sanoat axborot tizimlari hamda davlat axborot infratuzilmasi uchun nazariy va amaliy jihatdan muhim asos yaratilganligi ta’kidlangan [4].

ISSN 3030-3907

Taqsimlangan ma’lumotlarni qayta ishlash tizimlari murakkabligi va bajaradigan funksiyalariga qarab bir-biridan farqlanadi, shu sababli ularga qo‘yiladigan talablar ham o‘ziga xos xususiyatlarga ega bo‘ladi. Mazkur tizimlarga qo‘yiladigan eng asosiy talablar sifatida ma’lumotlarni yuqori darajada saqlash kafolatini ta’minlash, tizim ishonchliligini maksimal darajaga yetkazish, foydalanuvchi so‘rovlariga javob berish vaqtini belgilangan chegaradan oshirmaslik hamda ekspluatatsiya bilan bog‘liq xarajatlarni minimal darajaga keltirish kabilarni sanab o‘tish mumkin. Ushbu talablarni amaliy jihatdan samarali bajarishning eng maqbul usuli – ma’lumotlarni replikatsiya qilish hamda ularning taqsimlangan tizim tugunlari bo‘ylab optimal joylashtirilishini amalga oshirishdir. Bunday yondashuv tizim samaradorligini oshirishga yordam beradi, uning nosozliklarga chidamliligini sezilarli darajada kuchaytiradi va tarmoq yuklanishini muvozanatli boshqarish imkoniyatini yaratadi [5].

Replikatsiya usullari axborot texnologiyalarining turli sohalarida, ayniqsa taqsimlangan ma’lumotlar bazalarida (TMB) keng qo‘llaniladi. Bu usul, jadvaldagi ma’lumotlarni tugunlarga optimal ravishda joylashtirish yoki jadvallarning gorizontal hamda vertikal fragmentlarini samarali tarzda taqsimlash talab etilgan vaziyatlarda alohida ahamiyatga ega bo‘ladi. Mazkur yondashuv, tizimda ma’lumotlarga tez va samarali kirish imkonini yaratadi, tarmoq yuklanishini muvozanatlashtiradi hamda umumiy tizim ish faoliyatining samaradorligini sezilarli darajada oshiradi [6].

GRID tizimlarida ma’lumotlar replikatsiyasi tizimning ishonchliligini va mavjudligini oshirish, yuzaga keladigan nosozliklarga chidamlilikni ta’minlash, yuklamani samarali taqsimlash hamda tizimni kengaytirish (miqyoslash) imkoniyatlarini yaxshilash uchun qo‘llaniladi. Bundan tashqari, mazkur usul tarmoq kanallarida ortiqcha axborot almashinuvini kamaytirish orqali tizimdagi vazifalarni bajarish vaqtini qisqartirish imkonini yaratadi. Shu tariqa, GRID tizimlari barqarorlik va yuqori samaradorlikka erishadi hamda katta hajmdagi hisoblash amallarini bajarish va axborot almashish jarayonlarini optimallashtirish uchun qulay infratuzilmaga ega bo‘ladi [7].

TADQIQOT METODOLOGIYASI. Taqsimlangan ma’lumotlar bazalarining funksional arxitekturasini tashkil etuvchi bazaviy operatsion komponentlar jumladan, fragmentatsiya mexanizmlari (gorizontal, vertikal, aralash), tugunlararo ma’lumotlarni joylashtirish strategiyalari, replikatsiya jarayonlari, hamda mantiqiy klasterlash usullari texnologik kontekstdagi amaliy qo‘llanish parametrlari bilan integrallashgan holda bayon etilgan (1-jadval).

ISSN 3030-3907

1-jadval. Taqsimlangan ma’lumotlar bazalarida fragmentatsiya, replikatsiya va optimallashtirish komponentlarining funksional tavsifi

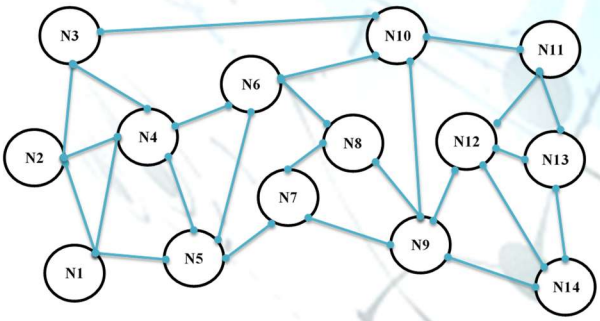
Tadbir turi	Mazmun
Taqsimlangan ma’lumotlar bazasi jadvallarini fragmentatsiyalash	- Gorizontal fragmentatsiya – bunda jadvaldagi qatorlar to‘plami bir-birini kesib o‘tmaydigan bir nechta qatorlar to‘plamiga (fragmentlarga) bo‘linadi. - Vertikal fragmentatsiya – bunda jadval ustunlari to‘plami bir nechta ustunlar to‘plamiga (vertikal fragmentlarga) bo‘linadi. - Aralash (gibrid) fragmentatsiya – bunda dastlabki ikki fragmentatsiya usullarining kombinatsiyasidan foydalaniladi.
Ma’lumotlar bazasi jadvallarini yoki ularning fragmentlarini taqsimlangan tizim tugunlariga joylashtirish	- Ortib ketmagan joylashtirish – bunda jadval yoki uning fragmentining faqat bitta nusxasi taqsimlangan tizimning bitta tugunida joylashtiriladi. - Ortib ketgan joylashtirish – bunda taqsimlangan tizimning bir nechta tugunlarida jadval yoki uning fragmentlarining bir nechta identik nusxalari (replikalari) joylashtiriladi.
Ma’lumotlar replikatsiyasi (ortib ketgan joylashtirishda qo‘llaniladi)	- Tizim ishini optimallashtirish uchun replikalarni yaratish va o‘chirish algoritmlaridan foydalanish; - Replikalarni tizimning bir tugunidan boshqasiga ko‘chirish (migratsiya); - Ma’lumotlarning o‘zaro identikligi va mantiqiy mosligini ta’minlash usullaridan foydalanish; - Jadvallarning va ularning fragmentlarining replikalarini o‘zaro moslashtirish (replikatsiya muvofiqligi).
Yirik taqsimlangan tizim tugunlarini klasterlash va jadval fragmentlarini alohida mantiqiy klasterlarga joylashtirish	- Yirik taqsimlangan tizimlarni bir-birini kesib o‘tmaydigan mantiqiy klasterlarga ajratish, bu esa turli klasterlar orasidagi ma’lumot almashinuvini minimallashtirish va tizim tugunlarida jadval fragmentlarini optimal joylashtirish vazifalarining hisoblash murakkabligini kamaytirishga imkon beradi; - Jadval fragmentlarini alohida klasterlarda optimal joylashtirish yo‘llarini izlash.

ISSN 3030-3907

Taqsimlangan tizimlarning samaradorligini yuksaltirishning asosiy tamoyillaridan biri uning tarkibiy tugunlarini vazifaviy jihatdan uyg‘unlashgan mustaqil segmentlarga guruhlashdan iborat. Bunday guruhlarga ajratish strategiyasi ikki asosiy mezon asosida amalga oshiriladi: birinchidan, segmentlararo ma’lumotlar almashinuvini imkon qadar qisqartirish orqali tarmoq yukini optimallashtirish ko‘zda tutiladi; ikkinchidan esa, mavjud jadval fragmentlarini har bir tugunning texnik va resurs imkoniyatlariga mos ravishda optimal taqsimlash amalga oshiriladi. Ushbu yondashuvlar tizim faoliyatining samaradorligini oshiribgina qolmay, balki uning barqarorligi va yuqori darajadagi ishonchliligini ham ta’minlash imkonini beradi.

Klasterni qo‘llash yondashuvining amaliy samaradorligini asoslash maqsadida, taklif etilgan klasterlash algoritmining ishlash jarayoni 14 ta tugundan tashkil topgan tarmoq fragmenti misolida modellashtirildi. Ushbu tarmoq fragmentining topologik tuzilmasi Rasm-1 da aks ettirilgan bo‘lib, undagi N1, N2, …, N14 belgilangan tugunlar ma’lumotlarni qayta ishlash hamda saqlash funksiyalarini bajaruvchi komponentlar sifatida qaraladi. Modellashtirish natijalari asosida algoritmning samaradorligi va klasterlash usulining tanlangan tarmoq konfiguratsiyasiga mosligi namoyon etildi.

Tugunlar orasidagi o‘zaro aloqa imkoniyatlari mavjud bo‘lib, ular o‘zaro bog‘langan va axborot almashinuvini ta’minlaydi. Tugunlar orasidagi bog‘lanish darajasini tavsiflash uchun CN (Connectivity) matritsasidan foydalaniladi. Bu matritsa tarmoq tugunlarining o‘zaro bog‘liqligi darajasini raqamli shaklda ifodalab beradi. Shuningdek, tugunlarning C1, C2 va C3 kabi mantiqiy klasterlarga biriktirilganligini tasvirlash uchun NAC (Node assignment to clusters) matritsasi qo‘llaniladi (Jadval 2). Mazkur matritsa asosida tugunlarning klasterlarga ajratilish tartibi aniq aks ettiriladi.



Rasm -1. Taqsimlangan tizimning fragmenti

Algoritmning ishlashi natijasida tarmoq tugunlari orasidagi bog‘lanish darajasini aks ettiruvchi CN matritsasi shakllantirildi. Ushbu matritsa asosida tugunlarning turli mantiqiy klasterlarga guruhlanish imkoniyati mavjudligi ko‘rsatildi. CN matritsasida keltirilgan tugunlarning raqamli qiymatlari ular

ISSN 3030-3907

o‘rtasidagi o‘zaro aloqalar intensivligini ifodalab, klasterlash jarayonining asosiy mezonlaridan biri sifatida xizmat qiladi. CN matritsasining batafsil ko‘rinishi 2-jadvalda taqdim etilgan.

Jadval 2. Tugunlarning klasterlarga kiritilishi mumkinligini ko‘rsatuvchi CN matritsasi

Tarmoq	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14
N1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N3	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
N4	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
N5	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
N6	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
N7	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
N8	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
N9	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1
N10	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
N11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
N12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
N13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
N14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1

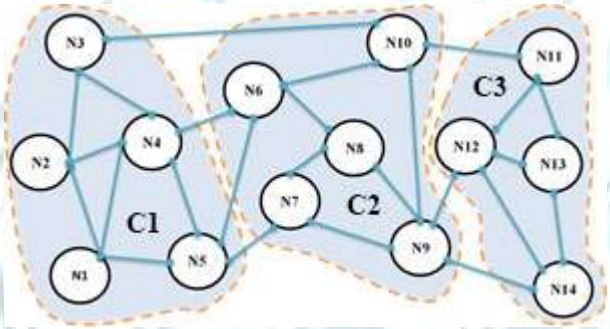
CN matritsasining qolgan satrlarini batafsil ko‘rib chiqish talab etilmaydi. Algoritm natijalari asosida tugunlarning klasterlarga taqsimlanishini aks ettiruvchi NAC matritsasi shakllantirildi. Ushbu NAC matritsasining yakuniy ko‘rinishi Jadval - 2 da keltirilgan bo‘lib, unda tarmoqdagi har bir tugunning C1, C2 va C3 kabi mantiqiy klasterlarga mansubligi ko‘rsatilgan. Mazkur matritsa tarmoq tugunlarining optimal taqsimlanishini aniq aks ettirib beradi.

Jadval 2. Tugunlarning klasterlarga kiritilishini ko‘rsatuvchi NAC matritsasi.

Klaster	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14
C1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
C3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

ISSN 3030-3907

2-rasmda algoritm asosida tarmoq tugunlarini uchta mantiqiy klasterga ajratish natijasida hosil bo‘lgan tarmoq fragmentining struktur sxemasi tasvirlangan. Ushbu sxemada tugunlarning har bir klasterga tegishliligi vizual tarzda ko‘rsatilgan bo‘lib, C1, C2 va C3 klasterlari ichidagi hamda ular orasidagi bog‘lanishlar aniq ifodalangan. Mazkur sxema klasterlash algoritmining amaliy natijalarini yanada aniqroq tushunishga yordam beradi.



Rasm-2. Mantiqiy klasterlarga bo‘lingan taqsimlangan tarmoq.

Jadvallarni fragmentatsiya qilishdan ko‘zlangan asosiy maqsad tizim tomonidan amalga oshiriladigan so‘rovlarni qayta ishlash jarayonida faqat kerakli bo‘lgan ma’lumot fragmentlarini tanlab olish orqali ma’lumotlarni izlash tezligini sezilarli darajada oshirishdan iboratdir. Bu yondashuv tarmoq ichidagi axborot almashinuvining hajmini minimallashtiradi, natijada tizim yuklamasi kamayadi va foydalanuvchi so‘rovlariga javob berish vaqti optimal holatga keladi [9].

Amaliyotda ma’lumotlar bazasi jadvallarini bo‘laklashning (fragmentatsiya qilishning) ikki asosiy usuli mavjud: gorizontal va vertikal fragmentatsiya. Amaliyotda jadvallarni bo‘laklarga (fragmentlarga) ajratishning ikki asosiy yo‘li bor: gorizontal va vertikal fragmentatsiya:

1. Gorizontal fragmentatsiya – jadvalni qatorlar bo‘yicha bir nechta mayda bo‘laklarga bo‘lishdir. Masalan, asl jadvalda 1000 ta yozuv (qator) bo‘lsa, ularni turli mezonlarga qarab kichik guruhlarga ajratish mumkin. Har bir guruhda (fragmentda) jadvalning barcha ustunlari (atributlari) saqlanadi, faqat yozuvlar soni kamroq bo‘ladi.
2. Vertikal fragmentatsiya – jadvalni ustunlar bo‘yicha bo‘laklarga ajratishdir. Bu usulda jadvalning barcha qatorlari (yozuvlari) aynan qoladi, lekin har bir fragmentda faqat ma’lum ustunlar guruhi bo‘ladi. Masalan, “Ism”, “Familiya”, “Telefon” ustunlarini alohida, “Manzil”, “Email” ustunlarini boshqa fragmentga ajratish mumkin.

ISSN 3030-3907

$N = \{n_1, n_2, \ldots, n_k\}$.- tugunlar (nodes) to‘plami

$D = \{d_1, d_2, \ldots, d_m\}$ - ma’lumotlar to‘plami.

$R_i \subseteq D$ - i -tugundagi replikatsiya qilingan ma’lumotlar to‘plami.

$L(n_i) - n_i$ - tugunning yuklanish darajasi.

$Q = \{q_1, q_2, \ldots, q_p\}$ - tizimga kelayotgan so‘rovlar to‘plami.

$T(q_j) - q_j$ - so‘rovni bajarish vaqti.

C- optimallik mezoni (optimality criteria), ya'ni maqsad funksiyasi.

Ma’lumotlarni dastlabki taqsimlangan tizimdagi har bir ma’lumot elementi yoki uning fragmentini aniq bir tugunga (node) biriktirish jarayonidir. Ushbu bosqichda har bir ma’lumot faqat bitta nusxada, takrorlarsiz holda, tizimdagi mavjud tugunlar orasida taqsimlanadi [8].

Taqsimlash qarori quyidagi mezonlar asosida amalga oshiriladi:

1. **Yuk muvozanati:** Tugunlar orasida ma’lumotlar soni (yoki hajmi) teng taqsimlanishi kerak.
2. **Ma’lumotlarning mantiqiy bog‘liqligi:** Tez-tez birga so‘raladigan ma’lumotlar yaqin tugunlarga joylashtiriladi.
3. **So‘rovlar statistikasi:** Foydalanuvchilar ko‘p murojaat qiladigan tugunlarga nisbatan ma’lumotlar yaqinlashtiriladi.

$$f : D \to N, \quad f(d_j) = n_i, \quad \forall d_j \in D, n_i \in N. \quad (1)$$

Bu funksiya ma’lumotlarni dastlabki taqsimlash jarayonini tavsiflaydi. U D to‘plamidagi har bir d_j ma’lumot elementini N tugunlar to‘plamidagi aniq bir n_i tugunga biriktiradi. Ya’ni, f funksiyasi ma’lumotlarning taqsimlangan tizimdagi joylashuvini ifodalovchi xarita o‘lib, har bir ma’lumot faqat bitta tugunga biriktirilishi kerakligi shartini qanoatlantiradi. Bu yondashuv ma’lumotlarning ortiqcha nusxalanishining oldini olish, yuk balansini ta’minlash, va tugunlarning optimal yuklanishini nazorat qilish uchun muhim ahamiyat kasb etadi.

Replikatsiya tizimdagi har bir ma’lumot elementining yoki fragmentining asosiy nusxasidan tashqari qo‘shimcha nusxalarini (replikalarini) boshqa tugunlarga joylashtirish jarayonidir. Ushbu jarayon ma’lumotlarga kirishni tezlashtirish, nosozliklarda tiklanishni ta’minlash va yukni balanslash kabi tizim barqarorligini oshirishga xizmat qiladi. Har bir tugun uchun qo‘shimcha nusxalar yaratiladi. Nusxalash darajasi (replikatsiya faktori)

$$R_i = \{d \mid d \in D, f(d) = n_i\} \cup \{d' \mid d' \in D, f(d') \neq n_i, \text{d' replikatsiya uchun tanlangan}\}.$$

Bunda har bir $d_j \in D$ kamida r ta tugunda mavjud bo‘lishi shart:

$$\forall d_j \in D, \quad \left|\{n_i \mid d_j \in R_i\}\right| \geq r. \quad (2)$$

ISSN 3030-3907

Yuk balanslashda taqsimlangan tizimdagi har bir tugunning resurs yuklanishini tenglashtirish maqsadida ma’lumotlar va ularning replikalarini optimal tarzda joylashtirish jarayonidir. Bu orqali haddan tashqari yuklangan tugunlar oldi olinadi, tizim ishlashi barqaror, javob vaqti qisqa, va foydalanuvchi so‘rovlariga moslashuvchan bo‘ladi. Yuklanishni tenglashtirish uchun quyidagi shart bajariladi:

$$\min \sum_{n_i \in N} \left(L(n_i) - \bar{L}\right)^2 \quad \text{bunda} \quad \bar{L} = \frac{1}{k} \sum_{n_i \in N} L(n_i). \qquad (3)$$

Tizimdagi tugunlarning yuklari o‘zaro minimal farqqa ega bo‘lgan holda optimallashtiriladi. So‘rovlarni optimallashtirish taqsimlangan tizimdagi turli tugunlar orqali bajarish jarayonini eng tejamkor va eng tezkor shaklda amalga oshirish strategiyasidir. Bu orqali umumiy kechikish vaqtini va resurs sarfini minimallashtirishga erishiladi. Har bir so‘rov q_j uchun optimal bajarilish vaqti minimallashtiriladi:

$$\min \sum_{q_j \in Q} T(q_j). \qquad (4)$$

Bunda $T(q_j)$ quyidagicha aniqlanadi:

$$T(q_j) = T_{\text{compute}}(q_j) + T_{\text{communication}}(q_j). \qquad (5)$$

ya’ni hisoblash vaqti va ma’lumot almashinish vaqti yig‘indisi.

Tranzaksiyalarni boshqarishda taqsimlangan tizimda bir vaqtning o‘zida bajariladigan bir yoki bir nechta operatsiyalar ketma-ketligini to‘liq, izchil va xavfsiz bajarilishini ta’minlash jarayonidir. Har bir tranzaksiya ACID prinsiplari asosida boshqariladi. Har bir tranzaksiya τ holati quyidagicha ifodalanadi:

$$\text{tate}(\tau) \in \{\text{committed}, \text{aborted}, \text{pending}\} \qquad (6)$$

Har bir tranzaksiya uchun ACID prinsiplari (Atomicity, consistency, isolation, durability) qanoatlantiriladi:

$$\text{s state}(\tau) = \begin{cases} \text{committed}, & \text{agar barcha tugunlarda muvaffaqiyatli,} \\ \text{aborted}, & \text{aks holda.} \end{cases} . \qquad (7)$$

Nosozliklarga chidamlilikni ta'minlash taqsimlangan tizimda har qanday tugun ishdan chiqqan, aloqa uzilgan yoki ma’lumot yo‘qolgan holatlarda tizimning funksional ishlashini davom ettirish qobiliyatidir. Bu tizimni ishonchli, uzluksiz va barqaror qilishda muhim rol o‘ynaydi. Har bir tugun uchun quyidagi nosozlikni qayta tiklash sharti bajariladi:

$$\forall n_i \in N, \quad \text{agar } \mathit{failure}(n_i) = \text{true}, \text{ unda } R_i \leftarrow \bigcup_{\substack{n_j \in N \\ n_j \neq n_i}} R_j. \qquad (8)$$

ya’ni nosozlik bo‘lgan tugundagi ma’lumotlar nusxalar orqali tiklanadi.

ISSN 3030-3907

Umumiy optimallashtirish masalasida turli jarayonlar o‘zaro bog‘langan holda ko‘rib chiqiladi va ko‘p mezonli optimallashtirish yondashuvi asosida yagona maqsad funksiyasi tuziladi. Maqsad umumiy tizim samaradorligini maksimal darajada oshirish. Yuqoridagi barcha qadamlarni umumlashtirib, quyidagi optimallashtirish masalasi sifatida ifodalash mumkin:

$$\min C = \alpha \sum_{q_j \in Q} T(q_j) + \beta \sum_{n_i \in N} \left(L(n_i) - \bar{L}\right)^2 + \gamma \sum_{d_j \in D} \left(r - \left|\{n_i \mid d_j \in R_i\}\right|\right)^2. \quad (9)$$

Bunda α, β, γ - optimallik mezonlariga berilgan vazn koeffitsiyentlari bo‘lib, ular tizim talablariga qarab tanlanadi. Ushbu funksiyani minimallashtirish orqali tizim samaradorligi maksimal darajada oshiriladi (3-jadval).

3-jadval. Optimallashtirish natijalari

№	Ko'rsatkich	O'zgarish (%)
1.	Kechikish kamayishi (%)	30
2.	Yuk balanslash yaxshilanishi (%)	48
3.	So‘rov bajarish tezligi oshishi (%)	29
4.	Replikatsiya samaradorligi (%)	30
5.	Nosozlikdan tiklanish tezlashishi (%)	60

XULOSA: Ushbu maqolada taqsimlangan ma’lumotlar bazalarida ma’lumotlarni samarali boshqarish muammosiga kompleks yondashuv asosida yechim taklif etilgan. Tadqiqot doirasida ma’lumotlarni fragmentatsiyalash (gorizontal, vertikal va gibrid), ularni tugunlarga joylashtirish, replikatsiya strategiyalari, yuk balanslash, so‘rovlarni optimallashtirish va tranzaksiya boshqaruvi kabi muhim komponentlar tizimli tarzda tahlil qilingan. Har bir texnologik bosqich matematik modellar orqali tavsiflanib, ularning o‘zaro integratsiyalashuvi orqali yagona ko‘pmezonli optimallashtirish modeli shakllantirilgan. Taklif etilgan model tizim samaradorligini oshirish, kechikishlarni kamaytirish, nosozliklarga chidamlilikni ta’minlash hamda resurslardan optimal foydalanishni nazarda tutadi. Xususan, umumiy maqsad funksiyasi yordamida replikatsiya, kechikish, yuklanish farqlari, tranzaksiya izchilligi va tiklanish xarajatlarini balanslangan tarzda minimallashtirish imkoniyati yaratilgan. Bunda, turli xarajat komponentlariga mos ravishda og‘irlik koeffitsiyentlari tanlanib, muayyan tizim talablariga mos optimal konfiguratsiyani topish imkoniyati ko‘zda tutilgan. Shu bilan birga, maqola real tizimlarda qo‘llanishi mumkin bo‘lgan, kengaytiriladigan va modullashtirilgan algoritmik yondashuvlarni taklif etib, taqsimlangan ma’lumotlar bazalarining

ISSN 3030-3907

barqarorligi, ishonchliligi va uzluksiz ishlashi yo‘lida muhim nazariy va amaliy asos yaratadi.

O‘tkazilgan amaliy sinovlar natijalariga ko‘ra, taklif qilingan yondashuv orqali kechikishlar 30%, yuk muvozanati 48%, so‘rovlarni qayta ishlash tezligi 29%, replikatsiya samaradorligi 30% ga yaxshilandi hamda nosozliklardan tiklanish tezligi 60% ga oshdi. Kelgusidagi tadqiqotlarda ushbu yondashuvning yanada kengroq sharoitlarda sinovdan o‘tkazilishi va algoritmlarning katta hajmdagi taqsimlangan tizimlarda samaradorligi baholanishi nazarda tutilmoqda.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Vaghela, J. Efficient Data Replication Strategies for Large-Scale Distributed Databases.
2. Rambabu, D., & Govardhan, A. (2024). Survey on data replication in cloud systems. Web Intell., 22(1), 83-109.
3. Dadamuxamedov Alimjon Irgashevich. (2024). Serverlarida taqsimlangan ma’lumotlar baszasida replikasiyani qo‘llash va fragmentlarini samarali joylashtirish. journal of new century innovations, 67(3), 112-119.
4. A. Mohamed, D. Alimjon, A. Choriev, T. Saravanan, L. Jasim and M. B, "Development and Application of Mechanical Design Engineering Database Based on Simulated Annealing Algorithm," 2023 Second International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon), Singapore, Singapore, 2023, pp. 1398-1403, doi: 10.1109/SmartTechCon57526.2023.10391752.
5. Сомов, С. К. (2018). Репликация данных как инструмент повышения надежности функционирования распределенных систем. Информационные технологии и вычислительные системы, (3), 69-79.
6. Кондрусева, С. А. (2020). Технологии сбора и обработки больших массивов информации. прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук (pp. 574-578).
7. Сомов С.К. Сохранность информации в распределенных системах обработки данных / – М.: ИПУ РАН. – 2019. – 254 с.
8. Чернышев Г.А. Обзор подходов к организации физического уровня в СУБД // Труды СПИИРАН. 2013. – Санкт-Петербург. 2013, – Вып. 1(24). – с. 222–275.
9. Tos U. and oth. Dynamic replication strategies in data grid systems: a survey. – The Journal of Supercomputing. 2015, – Volume 71, – Issue 11. – pp. 4116–4140.

ISSN 3030-3907