



TOPOLOGIK MA'LUMOTLAR TAHLILI (TDA) ASOSIDA YADRO KOMPYUTERING ARXITEKTURALARINI OPTIMALLASHTIRISH

Shomurodov Akmal Akbar o'g'li

Navoiy Davlat Universiteti

“Matematika va informatika” yo'nalishi 4-bosqich talabasi

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17394184>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 10-oktabr 2025 yil

Ma'qullandi: 15-oktabr 2025 yil

Nashr qilindi: 20-oktabr 2025 yil

KEY WORDS

Topologik ma'lumotlar tahlili, TDA, kompyuter arxitekturası, yadro optimallashtirish, persistent homologiya, Betti sonlari.

ABSTRACT

Maqolada topologik ma'lumotlar tahlili (TDA) usullaridan foydalangan holda yadro kompyuterlari arxitekturalarini optimallashtirish masalalari yoritilgan. TDA yondashuvi yordamida tizimdagi yadro, xotira va ma'lumot oqimlari o'rtasidagi fazoviy bog'lanishlar aniqlanadi. Persistent homologiya asosida tizimning ichki topologik tuzilmasi — bog'lanish darajasi, halqalar va bo'shliqlar tahlil qilinib, samaradorlikni oshirish bo'yicha takliflar ishlab chiqiladi. Natijada, energiya tejamkorligi va hisoblash tezligi yaxshilanadi.

Zamonaviy kompyuter texnologiyalarining rivojlanishi bilan bir qatorda, ma'lumotlarni qayta ishlash tezligi va samaradorligini oshirish masalasi dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Ayniqsa, ko'p yadroli (multicore) va parallel ishlov beruvchi tizimlarda arxitektura elementlari orasidagi o'zaro bog'lanishlar murakkablashib, tizimning ichki tuzilmasini samarali boshqarish zarurati ortmoqda. Shu nuqtayi nazardan, kompyuter arxitekturalarini optimallashtirish jarayonida yangi matematik yondashuvlardan foydalanish muhim ahamiyatga ega.

Shunday ilg'or yondashuvlardan biri — topologik ma'lumotlar tahlili (TDA — Topological Data Analysis) bo'lib, u murakkab ma'lumotlar tizimining shaklini, tuzilishini va ichki bog'lanishlarini o'rganishga asoslanadi. TDA an'anaviy statistik yoki geometrik tahlil usullaridan farqli o'laroq, ma'lumotlar to'plamidagi yashirin topologik munosabatlarni aniqlashga imkon beradi. Bu esa ma'lumotlar oqimining murakkabligini kamaytirish, yadro tizimlari orasidagi uzilish va kechikishlarni aniqlash hamda tizim samaradorligini oshirish imkonini yaratadi.

Yadro kompyuter arxitekturalarini topologik nuqtai nazardan tahlil qilish ularning ichki fazoviy bog'lanishlarini o'rganish, ortiqcha aloqa yo'llarini aniqlash, ma'lumot almashinuvi jarayonlarini optimallashtirish va energiya samaradorligini yaxshilash imkonini beradi. Shu bois, TDA usullarini kompyuter arxitekturalariga tatbiq etish zamonaviy hisoblash tizimlarining rivojlanishida muhim bosqich hisoblanadi.

Asosiy qism: Topologik ma'lumotlar tahlili (inglizcha: Topological Data Analysis, qisqacha TDA) — bu murakkab ma'lumotlar to'plamining ichki tuzilishini, shaklini va bog'lanishlarini o'rganishga qaratilgan matematik usul bo'lib, u algebraik topologiya

printsipalriga asoslanadi. TDA yordamida ma'lumotlarning geometrik yoki statistik jihatdan emas, balki fazoviy shakl asosida tahlil qilinadi.

Ushbu yondashuvda har bir ma'lumot nuqtasi fazodagi element sifatida qaraladi va ular orasidagi masofalar yoki o'xshashliklar asosida simplicial kompleks deb ataluvchi geometrik tarmoq hosil qilinadi. Bu kompleks yordamida ma'lumotlar to'plamining topologik xususiyatlari aniqlanadi, ya'ni nechta alohida bog'lanish mavjudligi, teshiklar yoki bo'sh joylar soni, va ularning o'zaro munosabatlari hisoblanadi.

TDA ning asosi homologiya nazariyasiga tayanadi. Homologiya orqali ma'lumotlarda mavjud teshiklar, halqalar yoki bo'shliqlar soni topiladi. Bu jarayonda Betti sonlari ($\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots$) muhim rol o'ynaydi:

β_0 – nechta mustaqil bog'langan komponent borligini bildiradi;

β_1 – nechta yopiq halqa (teshik) mavjudligini ko'rsatadi;

β_2 – fazoviy bo'shliqlar sonini bildiradi.

TDA ning asosiy natijasi barqaror topologik xususiyatlarni aniqlashdir. Buning uchun persistent homology (barqaror homologiya) usuli qo'llaniladi. Bu usul ma'lumotlarni turli masshtablarda tahlil qilib, har bir topologik xususiyatning "paydo bo'lish" va "yo'qolish" oraliqlarini hisoblaydi. Shu yo'l bilan haqiqiy tuzilma bilan tasodifiy shovqin orasidagi farq aniqlanadi.

Olingan natijalar odatda barcode diagramma yoki persistens diagramma ko'rinishida tasvirlanadi. Barcode diagrammadagi uzun chiziqlar ma'lumotning barqaror, ya'ni haqiqiy topologik xususiyatlarini, qisqa chiziqlar esa shovqindan kelib chiqqan vaqtinchalik o'zgarishlarni bildiradi.

Topologik ma'lumotlar tahlili bugungi kunda ko'plab sohalarda qo'llaniladi. Masalan, biologiyada DNK va oqsil molekulalarining fazoviy tuzilishini o'rganishda, tibbiyotda miya faoliyati signallarini tahlil qilishda, fizika va kimyoda zarrachalar joylashuvini tahlil qilishda, shuningdek, kompyuter arxitekturasini optimallashtirishda TDA dan foydalanish mumkin.

TDA ning eng muhim afzalligi shundaki, u ma'lumotlarning o'lchamiga bog'liq emas va shovqinlarga sezgir emas. U murakkab tizimlardagi yashirin strukturalarni aniqlash, ma'lumotlarni qisqartirmasdan ularning ichki bog'liqligini ochish imkonini beradi. Shu sababli TDA zamonaviy ma'lumotlar tahlilining eng istiqbolli yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

Kompyuter tizimlarining samaradorligi va tezkorligi ularning arxitekturasini to'g'ri loyihalash hamda ma'lumotlarni optimal tarzda boshqarish bilan chambarchas bog'liqdir. Zamonaviy kompyuter arxitekturalari ko'p yadroli (multicore) va parallel ishlov beruvchi tizimlarga asoslanib, ularda ma'lumotlar oqimi murakkab fazoviy va vaqtinchalik munosabatlarga ega bo'ladi. Shunday murakkab tizimlarda an'anaviy matematik modellardan tashqari, topologik ma'lumotlar tahlili (TDA — Topological Data Analysis) yondashuvi samarali vosita sifatida qo'llanila boshladi.

Topologik ma'lumotlar tahlili kompyuter arxitekturasining ichki tuzilmasini fazoviy tarmoq sifatida ko'rib chiqadi. Ya'ni, protsessor yadrolari, xotira bloklari, kesh tizimlari va ma'lumotlar oqimi elementlari o'zaro bog'langan tugunlar (vertexlar) sifatida tasvirlanadi. Ushbu bog'lanishlar orasidagi fazoviy va mantiqiy munosabatlarni tahlil qilish orqali tizimda ma'lumotlar tiqilishi (bottleneck), energiya sarfi yoki ishlov berishdagi kechikish kabi muammolarni topish mumkin bo'ladi.

TDA usullaridan biri bo'lgan persistent homology yordamida tizimning topologik xususiyatlari, masalan, bog'lanish darajasi, yadro o'rtasidagi ma'lumot almashinuvi shakli, hamda yadro tarmog'idagi teshiklar yoki ortiqcha yo'llar aniqlanadi. Bunda har bir arxitektura komponenti ma'lumot nuqtasi sifatida qabul qilinadi va ular orasidagi masofalar yoki kechikish vaqtlari asosida simplicial kompleks hosil qilinadi. Ushbu kompleksdagi Betti sonlari (β_0 , β_1 , β_2) tizimning tarmoq strukturasiidagi mustaqil komponentlar, halqalar va bo'shliqlar sonini bildiradi.

Natijada kompyuter tizimining topologik shakli aniq bo'ladi:

β_0 – yadrolar orasidagi mustaqil komponentlar soni;

β_1 – ma'lumot almashinuvi yo'lidagi yopiq halqalar yoki ortiqcha yo'llar

β_2 – tarmoq ichidagi bo'sh joy yoki ishlatilmayotgan aloqa kanallari.

Bu ma'lumotlar asosida arxitektura strukturaviy optimallashtirish jarayoni amalga oshiriladi. Ya'ni, ma'lumot oqimlarini qayta yo'naltirish, ortiqcha bog'lanishlarni qisqartirish, va yadro tarmoqlarini energiya jihatdan maqbullashtirish mumkin bo'ladi. Shu tarzda, TDA usullari yordamida tizimning ishlash tezligi oshadi, resurslardan samaraliroq foydalanish ta'minlanadi, va energiya samaradorligi yaxshilanadi.

Topologik yondashuvning afzalligi shundaki, u kompyuter arxitekturasining murakkabligini soddalashtirmasdan, balki uni fazoviy shakl sifatida to'liq tahlil qiladi. Bu esa tizimning yashirin tuzilmasini, ya'ni an'anaviy grafik tahlilda ko'rinmaydigan ichki bog'lanish naqshlarini aniqlash imkonini beradi.

Shu sababli, topologik ma'lumotlar tahlili zamonaviy superkompyuterlar, bulutli hisoblash tizimlari, neyrokompyuter arxitekturalari va kvant hisoblash platformalarini optimallashtirishda katta ahamiyat kasb etmoqda.

Xulosa: Topologik ma'lumotlar tahlili (TDA) zamonaviy kompyuter arxitekturalarini chuqur tahlil qilish va ularni optimallashtirishda samarali yondashuv sifatida o'z o'rniga ega. U tizimdagi yadro, xotira va ma'lumot oqimlari o'rtasidagi murakkab fazoviy bog'lanishlarni matematik jihatdan ifodalashga imkon beradi. TDA yordamida aniqlangan topologik xususiyatlar — Betti sonlari, halqalar va bo'shliqlar — tizimdagi yashirin strukturalarni ochib beradi hamda ishlov berish jarayonida yuzaga keladigan tiqilishlar yoki ortiqcha bog'lanishlarni aniqlashga xizmat qiladi.

Ushbu yondashuv asosida yadro tarmoqlarining ichki tuzilmasi optimallashtirilib, hisoblash jarayonining tezligi oshadi, resurslardan samarali foydalanish ta'minlanadi va energiya sarfi kamayadi. Natijada, TDA usullari yordamida ishlab chiqilgan tahlil modeli superkompyuterlar, neyrokompyuterlar va kvant hisoblash tizimlarida yuqori samaradorlikka erishish uchun muhim nazariy va amaliy asos yaratadi.

Shunday qilib, TDA kompyuter arxitekturasini fazoviy va topologik nuqtai nazardan tahlil qilish orqali yangi avlod hisoblash tizimlarini loyihalashda istiqbolli yo'nalish hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1. Edelsbrunner, H., & Harer, J. (2010). Computational Topology: An Introduction. American Mathematical Society. — TDA va persistent homologiya nazariy asoslari haqida.
2. Carlsson, G. (2009). Topology and Data. Bulletin of the American Mathematical Society, 46(2), 255–308. — Ma'lumotlarning topologik tahlili usullarining asosiy g'oyalari va amaliy qo'llanilishi.

3. Zomorodian, A., & Carlsson, G. (2005). Computing Persistent Homology. *Discrete & Computational Geometry*, 33(2), 249–274. — Persistent homologiyani hisoblash algoritmlari haqida.

