



TASVIRLARNI QAYTA ISHLASHDA VEKTOR FAZOLARINING QO‘LLANILISHI

Muallif: Ametova Gulsara Embergenovna¹

Affiliyatsiya: “TIQXMMI” Milliy tadqiqot universiteti tayanch doktorant¹

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17341439>

ANNOTATSIYA

Maqolada kvant hisoblashdagi vektor fazolari va ularning tasvirni qayta ishlash sohasida qo‘llanilishi yoritiladi. Klassik vektor fazo tushunchasi kvant algoritmlarida Hilbert fazosi orqali ifodalanadi. Hilbert fazosidagi bazislarni tanlash va ularda chiziqli kombinatsiyalar hosil qilish tasvirni kodlash, siqish, filtratsiya va konturini aniqlash algoritmlarida muhim rol o‘ynaydi. Tasvirlarni qayta ishlash sohasining asosiy muammosi klassik raqamli tasvirlarni kvant holatlariga samarali kodlash va ularni kvant sxemalarda ifodalash hisoblanadi. Ushbu muammoni hal qilish uchun turli kvant kodlash usullari ishlab chiqilgan bo‘lib, ular tasvirning piksel ma‘lumotlarini kvant bitlar (qubitlar) yordamida ifodalash, superpozitsiya va chalkashlik xususiyatlaridan foydalanish imkonini berilgan. Sohada eng ko‘p qo‘llaniladigan va tadqiq qilingan algoritmlarning har biri o‘ziga xos afzalliklari va cheklovlariga ega.

Kalit so‘zlar: tasvir, vektor fazo, kvant hisoblash, segmentatsiya, kontur.

KIRISH

So‘ngi yillar kvant algoritmlarini tushunish va ularni samarali ishlab chiqish uchun chiziqli algebra asoslarini yaxshi bilish talab etiladi. Chunki kvant mexanikasi va uning asosida qurilgan barcha kvant hisoblash modellari vektorli fazolar va bu fazolardagi chiziqli operatorlar tushunchasiga suyanadi.

Kvant mexanikasining asosiy tushunchalari, masalan kvant holatlari, o‘lchash amallari va kvant darvozalar chiziqli algebra vositalari orqali aniqlanadi. Shuningdek, kvant algoritmlarini o‘rganishda biz chiziqli algebraning elementar tushunchalarini vektorlar, matritsalar, o‘zgarishlar, xos vektor va xos qiymatlarni keng qollanemiz.

Mazkur maqolada tasvirlarni qayta ishlash nazariy asoslari, vektor fazolarli ifodasi, tasvirni siqish va tiklash, shovqinni kamaytirish va filtrlash, konturni aniqlash va segmentatsiyada eksponensial tezlikka erishishlar vektorli fazolarda ko‘rib chiqilgan. Bundan tashqari, katta hajmli tasvirlarni qayta ishlashda kvant algoritmlar afzalliklari ham yoritilgan.

METODOLOGIYA

Eng katta qiziqish uyg‘otadigan vektor fazosi kompleks C^n sonlarning barcha n -tuplalarining fazosidir $(z_1, \dots, z_n)$.

Vektor bo‘shliqlari vektorlar deb ataladi va ba‘zan biz vektorni ifodalash uchun ustunli matritsa notatsiyasidan foydalanamiz

$$\begin{bmatrix} z_1 \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix}$$

Vektor juftlarini boshqa vektorlarga aylantiradigan qo'shish operatsiyasi aniqlanadi. C^n vektorlarning qo'shish jarayoni formula bilan aniqlanadi:

$$\begin{bmatrix} z_1 \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z'_1 \\ \vdots \\ z'_n \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} z_1 + z'_1 \\ \vdots \\ z_n + z'_n \end{bmatrix}$$

bu erda o'ngdagi qo'shish operatsiyalari faqat murakkab sonlarning oddiy qo'shish operatsiyalari.

Bunga qo'shimcha ravishda, vektor fazoda skaler operatsiya yordamida ko'paytirish mavjud. Bu C^n amal quyidagicha aniqlanadi:

$$z \begin{bmatrix} z_1 \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} zz_1 \\ \vdots \\ zz_n \end{bmatrix}$$

bu erda z kompleks son bo'lgan skalar va o'ngdagi ko'paytirishlar kompleks sonlarning odatiy ko'payishidir. Fiziklar ba'zan kompleks sonlarni c raqamlar deb atashadi.

Kvant mexanikasi chiziqli algebrani o'rganish uchun bizning asosiy motivatsiyamizdir, shuning uchun biz chiziqli algebraik tushunchalar uchun standart kvant mexanikasi notatsiyasidan foydalanamiz.

Vektor fazoda vektor uchun standart kvant mexanik notatsiya quyidagicha:

$$|\psi\rangle \quad (1.4)$$

ψ -vektor uchun yorliq (har qanday yorliq amal qiladi, garchi biz ψ va ϕ kabi oddiy yorliqlardan foydalanishni afzal ko'ramiz). Notatsiya $|\cdot\rangle$ ob'ektning vektor ekanligini ko'rsatish uchun ishlatiladi. Butun ob'ekt $|\psi\rangle$ ba'zan ket deb ataladi, garchi biz bu terminologiyani tez-tez ishlatmaymiz.

Kvant hisoblashning nazariy asoslari vektor fazolari va Hilbert fazosiga tayanadi. Har bir kvant holati

$$|\psi\rangle = \sum_i \alpha_i |v_i\rangle, \quad \sum_i |\alpha_i|^2 = 1$$

ko'inishida ifodalanadi. Bu yerda $\{|v_i\rangle\}$ – Hilbert fazodagi ortonormal bazis vektorlari (ya'ni $\langle v_i | v_j \rangle = \delta_{ij}$), $\alpha_i \in \mathbb{C}$ esa amplitudalar bo'lib, normallashtirish sharti $\sum_i |\alpha_i|^2 = 1$ bajariladi. Ehtimolliklar $p_i = |\alpha_i|^2$ bilan beriladi. Tasvirni qayta ishlash jarayonida tasvirning piksellari kvant holatlari amplitudalari sifatida kodlanadi.

Kvant vektor fazolari va bazis almashinuvi

Klassik fazoda $\mathbb{C}^2$ bazis vektorlari:

$$|v_1\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, |v_2\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Ammo kvant algoritmlarida bazisni o'zgartirish Hadamard operatori yordamida tasvirni boshqa ko'inishda ifodalash imkonini beradi:

$$|v'_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, |v'_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

Bu bazis tasvirda konturlarni aniqlash va chastota komponentlarini ajratish uchun ishlatiladi. Kvant algoritmlarida bu jarayon kvant Fourier transformatsiyasi va kvant Hadamard transformatsiyasiga mos keladi.

Tasvirni kvant ko'inishda kodlash

Kvant tasvir vakillik modellari orasida keng qo'llaniladiganlari:

FRQI tasvir ranglarini kvant fazosidagi burchaklar orqali ifodalaydi.

NEQR tasvir piksellerini to'g'ridan-to'g'ri kvant bitlari ketma-ketligida saqlaydi.

Masalan, 2×2 tasvir piksellari:

$$I = \{a_{00}, a_{01}, a_{10}, a_{11}\}$$

kvant holatda quyidagicha ifodalanadi:

$$|I\rangle = \frac{1}{2} \sum_{x,y=0}^1 |xy\rangle |a_{xy}\rangle$$

TAHLILLAR

Tasvir siqish: Tasvirni bazis almashinuvi orqali ifodalab, ortiqcha amplitudalarni olib tashlash mumkin. Kvant Fourier transformatsiyasi asosida kvant tasvir siqish algoritmlari ishlab chiqilgan bo'lib, ular tasvirni eksponensial tezlikda siqishga imkon beradi.

Shovqinni kamaytirish: Kvant o'lchashlar vaqtida yuzaga keladigan shovqinlarni kamaytirish uchun kvant filtrlar ishlatiladi. Masalan, yuqori chastotali komponentlarni $|v_2\rangle$ bazisida yo'qotish tasvirni silliqlashga olib keladi.

Konturni aniqlash: Hadamard yoki Pauli-X operatorlari yordamida tasvirning gradientlarini ifodalash mumkin. Bu algoritmlar kvant fazosida edge detectionni amalga oshiradi. Klassik Sobel yoki Canny algoritmlariga kvant analoglari yaratilmoqda.

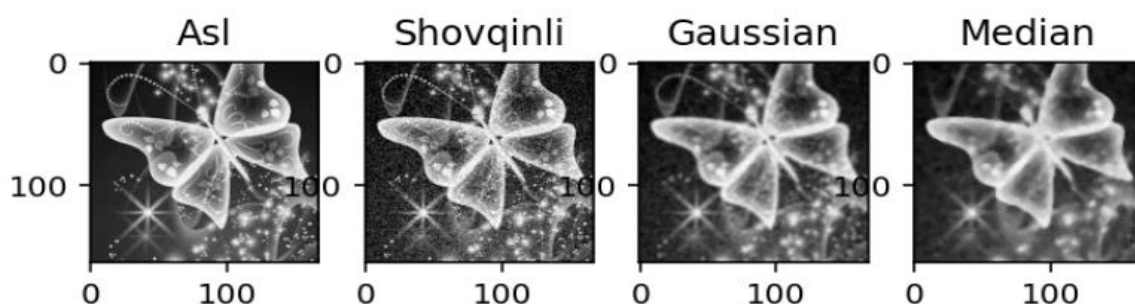
Tasvirni segmentatsiya qilish: Kvant klasterlash (K-means kvant versiyasi) algoritmlari tasvirni bo'laklarga ajratishda ishlatiladi. Bu jarayon kvant superpozitsiya va interferensiya xususiyatlari hisobiga tezlashtiriladi.

NATIJALAR

Kvant vektor fazolari tasvirni qayta ishlashda quyidagi imkoniyatlarni beradi:



1-rasm. Tasvirni siqish va tiklashning yangi algoritmlari



2-rasm. Shovqinni kamaytirish va filtrlashning samarali usullari



3-rasm. Konturni aniqlash va segmentatsiyada eksponensial tezlikka erishish

Kelajakda kvant tasvir algoritmlarini kvant mashinali o'qitish usullari bilan birlashtirish orqali tibbiy tasvir tahlili, masofadan zondlash va xavfsizlik tizimlarida katta yutuqlarga erishish mumkin.

XULOSA

Vektor fazosi tushunchasi kvant hisoblashning markaziy tayanchi bo'lib, tasvirni qayta ishlashda **bazis almashinuvi** va **unitar operatorlar** orqali ma'lumotni qayta tashkil etish, siqish, filtrlash hamda xususiyatlarni ajratishni yagona matematik ramkada yechishga imkon beradi. Kvant tavsiflar — superpozitsiya, interferensiya va o'lchash ehtimolliklari — klassik algoritmlarga nisbatan ayrim bosqichlarda murakkablikni kamaytiradi. Hadamard transformlar, kvant baholash va qidiruv usullari tasvir ustida **parallel** ishlash imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Z. Wang, M. Xu, Y. Zhang, Review of quantum image processing, Arch. Comput. Methods Eng. 29 (2) (2022) 737–761.
2. Y. Ruan, X. Xue, Y. Shen, Quantum image processing: opportunities and challenges, Math. Probl. Eng. 2021 (2021) 1–8.
3. A. Dey, S. Bhattacharyya, S. Dey, J. Platos, V. Snasel, Automatic clustering of colour images using quantum inspired meta-heuristic algorithms, Appl. Intell. 53 (9) (2023) 9823–9845.
4. H.S. Li, P. Fan, H. Xia, H. Peng, G.-L. Long, Efficient quantum arithmetic operation circuits for quantum image processing, Sci. China Phys. Mech. Astron. 63 (2020) 1–13.
5. S. Caraiman, V. Manta, Image processing using quantum computing, in: 2012 16th International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC, IEEE, 2012, pp. 1–6.
6. W.S. Gan, Quantum image processing, in: Quantum Acoustical Imaging, Springer, 2022, pp. 83–86.
7. Dilnoz Muhamediyeva, Narzillo Mamatov, Gulsara Ametova, Boymirzo Samijonov, Vohid Fayziyev. Applying a quantum-inspired discrete cosine transform to filter thumbnail images. [SPIE](#) 2025, 13651, 1365102
8. P. Xu, Z. He, T. Qiu, H. Ma, Quantum image processing algorithm using edge extraction based on Kirsch operator, Opt. Express 28 (9) (2020) 12508–12517.