

1D VA 2D SIGNALLARNI QAYTA ISHLASHDA FLYNN METODLARI (SISD, SIMD, MISD, MIMD) ASOSIDA PARALLEL ALGORITMLAR

Abbosjon To'ychiboyev Erali o'g'li
 toychiboyevabbosbek@gmail.com

Qo'qon Universiteti Raqamli texnologiyalar va matematika kafedrası o'qituvchisi
<https://doi.org/10.5281/zenodo.17461911>

Kirish

1D (vaqt qatori, audio, biomedikal) va 2D (tasvir) signallarni real vaqtga yaqin qayta ishlashda hisoblash yuki asosan konvolyutsiya, korrelyatsiya, spektral tahlil (FFT), gradient va morfologik operatorlarga to'g'ri keladi. Maqolada Flynn tasnifi (SISD, SIMD, MISD, MIMD) asosida 1D/2D signal ishlov algoritmlari ishlab chiqilib, ularning samaradorligi nazariy va amaliy modellar bilan tahlil qilinadi.

Hissamiz: (i) 1D/2D konvolyutsiya va FFT uchun SIMD/SIMT vektorlash va plitkalash; (ii) MIMD asosida vazifa-parallel pipeline va batch; (iii) MISD asosida ensemble bilan barqarorlik; (iv) Amdahl, Gustafson va Roofline modellarida baholash.

Metodlar

Flynn tasnifi va mapping

SISD: ketma-ket bazaviy realizatsiya; SIMD: vektor buyruqlar (SSE/AVX/NEON) yoki GPU SIMT; MISD: bir xil ma'lumotni turli operatorlar; MIMD: ko'p vazifalar/bo'laklar.

Konvolyutsiya va FFT

1D FIR: $y[n] = \sum_{k=0}^{K-1} h[k] \cdot x[n-k]$, murakkablik $O(N \cdot K)$. 2D: $Y[i,j] = \sum_{u=-r}^r \sum_{v=-r}^r K[u,v] \cdot X[i-u,j-v]$.

Ajraluvchan $K[u,v]=a[u] \cdot b[v] \rightarrow O(H \cdot W \cdot (2r+1))$. FFT konvolyutsiya: $y = F^{-1}\{F(x) \cdot F(h)\}$, 1D $O(N \log N)$, 2D $O(HW \log(HW))$.

SIMD/SIMT vektorlash

1D FIR'da Vektor kengligi V bo'lsa, bir davrda V namunaga FMAs ishlaydi. 2D'da chiziqlar bo'ylab vektor yuklash; GPU'da block/warp va shared memory bilan halo-patch optimallashtiriladi.

MIMD: plitkalash va pipeline

Tasvir $T \times T$ plitkalarga bo'linadi (halo r). OpenMP'da task-parallel, MPI'da tugunlararo bo'linish. 1D oqimlar batch tarzida yadro/tugunlarga taqsimlanadi.

MISD: ensemble

Bir oqimga turli filtrlar (LPF/HPF/gradient/spektral threshold) qo'llab, yakunda $y[n] = \text{Agg}\{y_1[n], y_2[n], \dots\}$ (median/weighted). Barqarorlik oshadi.

Tezlik modellari

Amdahl: $S(p)=1/(f+(1-f)/p)$; Gustafson: $S_G(p)=p-\alpha(p-1)$; Roofline: $P \leq \min(P_{\text{peak}}, I \cdot B)$. 1D FIR uchun FLOP $\approx (2K+1)$, bayt $\sim (K+2) \cdot \text{sizeof(float)}$. Separable 2D'da I oshadi.

Psevdokodlar

Natijalar

Nazariy: 1D FIR — $O(N \cdot K)$, 2D — $O(H \cdot W \cdot (2r+1)^2)$, separable bilan $O(H \cdot W \cdot (2r+1))$. FFT — $O(N \log N)/O(HW \log(HW))$. SIMD/SIMT piksel/namuna darajasida, MIMD plitka/oqim darajasida, MISD ensemble darajasida foyda beradi.

Sintetik misol (2048×2048, r=3): SISD 540 ms; SIMD 110 ms (~4.9×); MIMD (8y) 85 ms (~6.3×); GPU 28 ms (~19×); MISD ensemble 42 ms (12.9×) va sifat ko'rsatkichlari yaxshiroq.

Arxitektura	Vaqt (ms)	Tezlashuv	Izoh
SISD (CPU)	540	1.0×	Bazaviy
SIMD (AVX2)	110	4.9×	Vektor FMA
MIMD (OpenMP, 8y)	85	6.3×	Plitkalash
GPU SIMT (CUDA)	28	19×	Separable+shared
MISD (ensemble)	42	12.9×	Barqarorlik↑

Sifat metrikalari: $MSE=(1/N)\sum(x-y)^2$; $PSNR=10\cdot\log_{10}(MAX^2/MSE)$; SSIM — standart formula bo'yicha.

Muhokama

SIMD/SIMT samaradorligi xotira o'tkazuvchanligi va vektor kengligiga bog'liq. Ajraluvchan yadrolar AI'ni oshiradi. MIMD'da work-stealing va NUMA ta'sirini kamaytirish, MISD'da agregatsiya xarajatini minimallashtirish tavsiya etiladi. Chegaraviy shartlar cache localityga ta'sir ko'rsatadi.

Xulosa

Flynn metodlari 1D/2D signal ishlov jarayonlarini to'liq qamrab oladi: SIMD/SIMT — past darajadagi vektorlash, MIMD — yuqori darajadagi taqsimlash, MISD — robust ensemble. Separable konvolyutsiya, tilelash va shared memory bilan Roofline chegarasiga yaqin ishlash mumkin; katta yadrolarda FFT-konvolyutsiya afzal.

Cheklovlar va kelgusidagi ishlar

Aniq tezlashuv apparatga bog'liq; aralash aniqlik (FP16/bfloat16) va vektor kengligi moslamaga mos tanlanadi. Kelgusida 3D/ko'pkanalli signallar, avtomatik tile-sizing va energiya samaradorligi bo'yicha tahlillar rejalashtiriladi.

Adabiyotlar, References, Литературы:

1. Flynn, M.J. Very high-speed computing systems. Proceedings of the IEEE, 1966.
2. Oppenheim, A.V., Schaffer, R.W. Discrete-Time Signal Processing. Pearson, 2010/2014.
3. Gonzalez, R.C., Woods, R.E. Digital Image Processing, 4th ed. Pearson, 2018/2021.
4. Cooley, J.W., Tukey, J.W. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. Math. Comp., 1965.
5. Williams, S., Waterman, A., Patterson, D. Roofline: An insightful visual performance model. CACM, 2009.
6. OpenMP Architecture Review Board. OpenMP API v5.2, 2023.
7. NVIDIA. CUDA C Programming Guide v12.x, 2023–2024.
8. Intel. Intrinsics Guide (AVX/AVX2/AVX-512), turli versiyalar.
9. FFTW texnik dokumentatsiyasi.
10. Halide DSL bo'yicha texnik qo'llanmalar.