KOMPYUTER TOMOGRAFIYASI TASVIRLARINI FURYE ALMAShTIRIShI YORDAMIDA QAYTA IShLASh VA FILTRLASh USULLARINI TADQIQ ETISh

Qurbonov Nazriddin Nazir o‘g‘li – *doktorant*
qurbonovnazriddin@gmail.com
Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universiteti

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ И ФИЛЬТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ С ПОМОЩЬЮ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

Курбонов Назриддин Назирович – *докторант*
Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека

INVESTIGATION OF METHODS FOR PROCESSING AND FILTERING COMPUTED TOMOGRAPHY IMAGES USING THE FOURIER TRANSFORM

Kurbonov Nazriddin Nazirovich – *doctoral student*
National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek

Tayanch so‘zlar: kompyuter tomografiyasi, piksel matritsasi, Furye almashtirish, chastota sohasi, diskret Furye almashtirishi, raqamli tasvir, low-pass filtr, high-pass filtr, Gauss filtr, tasvirlarni qayta ishlash, NumPy, Python

Rezyume. Maqolada kompyuter tomografiyasi (KT) tasvirlarini Furye almashtirish asosida chastota sohasida qayta ishlash usullari nazariy va amaliy jihatdan o‘rganilgan. Shuningdek, chastota sohasida ideal past chastotali (Low-pass), ideal yuqori chastotali (High-pass) hamda Gauss filtrlarining tasvirga ta’siri amaliy tajribalar asosida solishtirildi.

Ключевые слова: компьютерная томография, матрица пикселей, преобразование Фурье, частотная область, дискретное преобразование Фурье, цифровое изображение, фильтр нижних частот (low-pass), фильтр верхних частот (high-pass), фильтр Гаусса, обработка изображений, NumPy, Python.

Резюме. В статье теоретически и практически исследованы методы обработки изображений компьютерной томографии (КТ) в частотной области на основе преобразования Фурье. Также на основе практических экспериментов было проведено сравнение влияния идеального фильтра нижних частот (low-pass), идеального фильтра верхних частот (high-pass) и фильтра Гаусса на изображение в частотной области.

Key words: computed tomography, pixel matrix, Fourier transform, frequency domain, discrete Fourier transform, digital image, low-pass filter, high-pass filter, Gaussian filter, image processing, NumPy, Python.

Summary. The article studies methods for processing computed tomography (CT) images in the frequency domain based on the Fourier transform, from both theoretical and practical perspectives. In addition, the effects of the ideal low-pass filter, the ideal high-pass filter, and the Gaussian filter on the image in the frequency domain were compared based on practical experiments.

Kirish. Hozirgi kunda tibbiy tasvirlarga raqamli ishlov berish masalalari amaliy matematika, kompyuter fanlari va tibbiy diagnostika yo‘nalishlarining muhim tadqiqot obyektlaridan biri hisoblanadi. Xususan, kompyuter tomografiyasi (KT) tasvirlarining sifatini oshirish, ulardagi shovqinlarni kamaytirish hamda diagnostik ahamiyatga ega bo‘lgan strukturalarni aniq ajratib ko‘rsatish masalalari dolzarb ilmiy muammolardan sanaladi [9, 10]. Kompyuter tomografiyasi (KT) zamonaviy tibbiy diagnostikaning eng muhim tasvirlash usullaridan biri hisoblanadi. Ushbu usul inson organizmining ichki tuzilmalari haqida yuqori aniqlikdagi kesimli tasvirlarni olish imkonini beradi. Ayniqsa, o‘pka kasalliklarini aniqlash, o‘smalar, yallig‘lanish jarayonlari va boshqa patologik o‘zgarishlarni tashxislashda KT tasvirlaridan keng foydalaniladi [1, 2, 3]. Chastota sohasidagi tahlil tasvirdagi silliq o‘zgaruvchi hududlar, qirralar, mayda strukturalar hamda shovqin komponentalarini alohida o‘rganish imkonini yaratadi [4, 7]. Tasvirlarni chastota sohasida tahlil qilishning asosiy matematik vositalaridan biri Furye almashtirishidir [5, 6]. Furye almashtirish tasvir signalini fazoviy koordinatalar bo‘yicha ifodalashdan uning chastotaviy tavsifiga o‘tishni ta’minlaydi. Natijada tasvirning energiyasi turli chastota komponentalari bo‘yicha taqsimlanadi [4, 5]. Past chastota komponentalari asosan tasvirning umumiy shakli, yorug‘lik taqsimoti va yirik strukturalar haqidagi ma’lumotlarni saqlaydi, yuqori chastota komponentalari esa qirralar, nozik detallar va keskin o‘zgarishlarni ifodalaydi [4, 7]. Furye spektri asosida turli xil chastota filtrlari qurilishi mumkin. Past chastotali filtrlar (Low-pass filtrlar) yuqori chastotali komponentalarni susaytirish orqali tasvirdagi shovqinlarni kamaytirishga xizmat qiladi. Yuqori chastotali filtrlar (High-pass filtrlar) esa aksincha, qirra va mayda detallarni ajratib ko‘rsatish imkonini beradi [4, 7]. Biroq ideal chastota filtrlari keskin o‘tish chegaralariga ega bo‘lgani sababli ayrim hollarda tasvirda tebranish (ringing) effektlarini keltirib chiqarishi mumkin. Shu sababli amaliy masalalarda chastota komponentalarini silliq ravishda o‘zgartiruvchi Gauss filtrlari keng qo‘llaniladi [4, 8]. Hisoblash tajribalari Python dasturlash muhiti hamda NumPy va Pillow kutubxonalari yordamida amalga oshirildi [11].

Tadqiqot materiallari va raqamli tasvirning matematik modeli. Tadqiqot obyekti sifatida internet manbalaridan olingan o‘pka kompyuter tomografiyasi tasviri tanlandi.

Raqamli tasvir matematik nuqtai nazardan ikki o‘lchovli diskret funksiya sifatida qaraladi [4, 8]: $f(x,y)$, bu yerda x – gorizontal kordinata, y – vertikal kordinata, $f(x,y)$ – mos pikselning yorug‘lik intensivligi.

Kulrang tasvirlarda har bir piksel ma’lum yorug‘lik qiymatini ifodalaydi va odatda quyidagi oraliqda joylashadi: $0 \le f(x,y) \le 255$, bu yerda 0 – mutlaq qora rang, 255 – mutlaq oq rang. Tadqiqotda foydalanilgan

o‘pka KT tasviri Python dasturlash muhiti yordamida qayta ishlash uchun tayyorlandi. dastlab tasvir kulrang (grayscale) formatga o‘tkazildi. Shundan so‘ng Pillow kutubxonasi yordamida tasvir yuklanib, NumPy kutubxonasi orqali sonli matritsa ko‘rinishiga keltirildi [11]. Tasvir matritsasi quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

$$I = \begin{bmatrix} i_{1,1} i_{1,2} \ldots i_{1,N} \\ i_{2,1} i_{2,2} \ldots i_{2,N} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ i_{M,1} \ldots i_{M,N} \end{bmatrix}$$

bu yerda $M-$qatorlar soni, $N-$ustunlar soni, $i_{M,N}-(M,N)$ koordinatadagi piksel intensivligi. Hosil qilingan matritsaning har bir elementi tasvirning mos pikseliga to‘g‘ri keladi.

Tadqiqot davomida tasvir ma’lumotlari ikki xil formatda saqlandi. Birinchi formatda matritsa qiymatlari matnli (*.txt)* ko‘rinishda saqlanib, sonli ma’lumotlarni tahlil qilish imkoniyati yaratildi. Ikkinchi formatda esa NumPy kutubxonasining *(.npy)* formati qo‘llanildi. Mazkur format katta hajmdagi matritsalarni yo‘qotishsiz saqlash va keyingi hisoblashlarda tezkor foydalanish imkonini beradi [11].

Furye almashtirishning matematik asoslari. Ushbu usul murakkab signal yoki tasvirni turli chastotali komponentalar yig‘indisi sifatida ifodalash imkonini beradi. Natijada tasvir tarkibidagi past va yuqori chastotali komponentalarni alohida o‘rganish hamda ularga selektiv ishlov berish imkoniyati yaratiladi [5, 6]. Kompyuter tomografiyasi tasvirlari ham raqamli signal sifatida qaralishi mumkin [3]. Shu sababli Furye almashtirishi yordamida tasvirni fazoviy koordinatalar sistemasidan chastota koordinatalari sistemasiga o‘tkazish mumkin bo‘ladi.

Ikki o‘lchovli uzluksiz Furye almashtirishi. Faraz qilamiz, tasvir $f(x,y)$ funksiyasi bilan ifodalangan bo‘lsin. Uning ikki o‘lchovli Furye almashtirishi quyidagi integral orqali aniqlanadi [5]:

$$F(u,v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) e^{-2\pi j(ux+vy)} dxdy \qquad (1)$$

bu yerda $f(x,y)$ – dastlabki KT tasviri, $F(u,v)$ – tasvirning chastota spektri, j – mavhum birlik ($j^2 = -1$), u,v – chastota koordinatalari.

Mazkur formula tasvir energiyasining turli chastotalar bo‘yicha taqsimlanishini aniqlash imkonini beradi. Bunda spektrning markaziy qismi asosan past chastotali komponentalarni, chekka qismlari esa yuqori chastotali komponentalarni ifodalaydi [4, 5]. Tasvirni qayta tiklash uchun:

$$f(x,y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u,v) e^{2\pi j(ux+vy)} dudv \qquad (2)$$

teskari Furye almashtirishi qo‘llaniladi. Ushbu formula chastota sohasidagi ma’lumotlar yordamida boshlang‘ich tasvirni qayta hosil qilish imkonini beradi [5].

Ikki o‘lchovli diskret Furye almashtirish. Amaliy hisoblashlarda uzluksiz tasvirlar emas, balki piksel qiymatlaridan tashkil topgan diskret tasvirlar bilan ish-lanadi. Shu sababli kompyuter hisoblashlarida diskret Furye almashtirishi (Discrete Fourier Transform — DFT) qo‘llaniladi [4, 6]. Raqamli tasvir piksel qiymatlaridan tashkil topgan ikki o‘lchovli matritsa hisoblanadi. Har bir piksel yorug‘lik intensivligini ifodalaydi va 0 dan 255 gacha qiymat qabul qiladi. Kulrang tasvir uchun: $I = \{I(x,y) \mid 0 \le x < M, 0 \le y < N\}$, bu yerda x,y – piksel koordinatalari, $I(x,y)-$ piksel intensivligi, M,N – tasvir o‘lchamlari (ustun va qatordagi piksellar soni). Tasvirni sonli ko‘rinishga o‘tkazish uchun Python dasturlash tilining Pillow va NumPy kutubxonalaridan foydalanildi. Ikki o‘lchovli diskret Furye almashtirish quyidagicha aniqlanadi:

$$F(u,v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) e^{-2\pi j\left(\frac{ux}{M}+\frac{vy}{N}\right)} \qquad (3)$$

bu yerda: $f(x,y)-$tasvir matritsasi elementlari, $F(u,v)-$furye spektridagi kompleks qiymatlar, M va $N-$tasvir o‘lchamlari.

Diskret Furye almashtirishi rasmni sinus va kosinus to‘lqinlar yig‘indisi sifatida ifodalaydi. Shu sababli, DFT natijasi tabiiy ravishda kosinus qismi (haqiqiy) va sinus qismi (mavhum) ga ajraladi [6]. Furye almashtirish natijasida tasvir kompleks sonlardan iborat matritsaga aylanadi. DFT natijasida hosil bo‘ladigan matritsaning har bir elementi kompleks son hisoblanadi: $F(u,v) = R(u,v) + jI(u,v)$, bu yerda: $R(u,v)-$haqiqiy qism; $I(u,v)-$mavhum qism. Kompleks ko‘rinish tasvirning amplituda va faza ma’lumotlarini bir vaqtning o‘zida saqlash imkonini beradi [4, 6]. Bu formula aslida DFT ning to‘liq yig‘indisidan

$$F(u,v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) e^{-2\pi j(\frac{ux}{M}+\frac{vy}{N})} \qquad (4)$$

kelib chiqadi. Buni ochib ko‘radigan bo‘lsak

$$e^{-2\pi j(\frac{ux}{M}+\frac{vy}{N})} = \cos(2\pi(\frac{ux}{M}+\frac{vy}{N})) - j\sin(2\pi(\frac{ux}{M}+\frac{vy}{N})) \qquad (5)$$

bu ifodani DFT yig‘indisiga qo‘yamiz:

$$F(u,v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y)\left[\cos(\theta) - j\sin(\theta)\right] \qquad (6)$$

bu yerda $\theta = 2\pi(\frac{ux}{M}+\frac{vy}{N})$. Endi qavsni ochib, haqiqiy va mavhum qismlari ajratiladi:

$$F(u,v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y)\cos(\theta) - j\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y)\sin(\theta) \qquad (7)$$

natijada $R(u,v)$ va $I(u,v)$ ifodalarning aniq ko‘rinishi hosil bo‘ladi.

Buning son ko‘rinishi sifatida matritsaning dastlabki 5x5 elementi oladigan bo‘lsak, u quyidagicha bo‘ladi:

-484.5644736845291+ 11.344578856210177j	19.008140490444816+ 11.57805893400473j	63.117409510184245+ 144.03389177032773j	-258.6678088622641+ 168.78645779089217j	-479.88578532340796- 346.90383064567214j
318.3436924992858- 84.76845641952663j	-424.4760640620499- 91.05041438808018j	-43.85991940236073+ 88.41556517287859j	198.98897615878434+ 158.28648843784254j	273.0568903579607- 251.52432245084236j
51.83325680841827+ 179.38246913050824j	160.30097893931736- 166.31514837649172j	-12.470179807930492- 259.32076067079333j	-39.959259389367226+ 76.11049468491169j	-141.6617102515147- 10.40658591620209j
-114.8784700334906+ 177.64944189034549j	43.60765017388122+ 170.29579810067295j	-18.230497043302762+ 49.63005657571702j	255.06329966231382+ 262.04821659040084j	-222.53459620895114- 118.78382487583076j
-243.19937770606515- 119.42031450005206j	-118.29364032228821- 392.4712221505017j	-737.769418924134+ 346.54071019155185j	-44.98456436549274+ 723.6995850384916j	508.0857055982889+ 111.6947683310021j

Teskari diskret Furye almashtirishi. Chastota sohasida bajarilgan amallardan so‘ng tasvirni qayta tiklash uchun teskari diskret Furye almashtirishi qo‘llaniladi [6]:

$$f(x,y)=\frac{1}{MN}\sum_{u=0}^{M-1}\sum_{v=0}^{N-1}F(u,v)e^{2\pi j\left(\frac{ux}{M}+\frac{vy}{N}\right)}. \qquad (8)$$

Tadqiqot davomida NumPy kutubxonasining *fft2()* va *ifft2()* funksiyalaridan foydalanildi [12]. Furye almashtirish va teskari Furye almashtirish natijalari o‘zaro taqqoslanganda tasvirning deyarli to‘liq tiklanganligi kuzatildi.

Max xatolik: 2.5579538487363607e-13, o‘rtacha xatolik: 3.512121774733278e-14, Min xatolik: 0.0

Xatolik bor elementlar soni: 94591

Birinchi 10 ta xatolik joylari:

(0, 0) -> 8.526512829121202e-14
(0, 2) -> 2.842170943040401e-14
(0, 3) -> 2.842170943040401e-14
(0, 4) -> 1.1368683772161603e-13
(0, 5) -> 8.526512829121202e-14
(0, 6) -> 5.684341886080802e-14
(0, 7) -> 2.842170943040401e-14
(0, 8) -> 2.842170943040401e-14
(0, 9) -> 2.842170943040401e-14
(0, 10) -> 5.684341886080802e-14

Eng katta xatolik joyi: (np.int64(289), np.int64(187))

Qiymati: 2.5579538487363607e-13

Kompyuter tomografiyasi tasvirlarini chastota sohasida filtrlash usullari. Furye almashtirish yordamida tasvir chastota sohasiga o'tkazilgandan so‘ng uning tarkibidagi turli chastotali komponentalarga alohida ishlov berish imkoniyati paydo bo‘ladi. Buning uchun chastota filtrlari qo‘llaniladi [4, 7]. Umumiy holda filtrlangan tasvirning Furye spektrini quyidagicha ifodalash mumkin: $G(u,v)=H(u,v)F(u,v)$, bu yerda, $F(u,v)-$ dastlabki tasvirning Furye spektri, $H(u,v)-$filtrning chastotaviy uzatish funksiyasi, $G(u,v)-$filtrlashdan keying chastota spektri. Shundan so‘ng filtrlangan tasvirni fazoviy sohaga qaytarish uchun teskari Furye almashtirishidan foydalaniladi:

$$g(x,y)=F^{-1}\{G(u,v)\}. \qquad (9)$$

Chastota sohasidagi filtrlash jarayoni uchta asosiy bosqichdan tashkil topadi [4, 7]:

$$f(x,y)\xrightarrow{F}F(u,v)\xrightarrow{H(u,y)}G(u,v)\xrightarrow{F^{-1}}g(x,y).$$

Bu yerda birinchi bosqichda tasvir chastota sohasiga o‘tkaziladi, ikkinchi bosqichda kerakli chastota komponentalari saqlanadi yoki susaytiriladi, uchinchi bosqichda esa qayta ishlangan tasvir fazoviy sohaga qaytariladi.

Low-pass filtr. Low-pass (past chastotali) filtr tasvir tarkibidagi past chastotali komponentalarni saqlab qolib, yuqori chastotali komponentalarni susaytirishga mo‘ljallangan [4, 7]. Ideal past chastotali filtrning uzatish funksiyasi quyidagicha berilishi mumkin:

$$H_{LP}(u,v)=\begin{cases}1, D(u,v)\le D_0,\\ 0, D(u,v)>D_0,\end{cases} \qquad (10)$$

Bu yerda, $D(u,v)-$chastota tekisligidagi markazdan (u,v) nuqtagacha bo‘lgan masofa, D_0-filtrning kesish chastotasi yoki radiusi.

Agar Furye spektri markazlashtirilgan bo‘lsa, D(u,v) quyidagicha aniqlanadi:

$$D(u,v)=\sqrt{(u-u_0)^2+(v-v_0)^2}, \qquad (11)$$

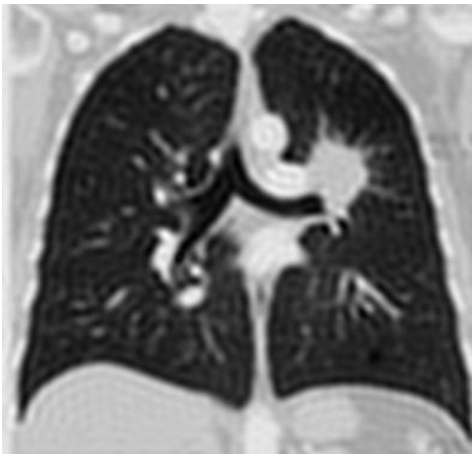
bu yerda $(u_0,v_0)-$chastota spektrining markazi.

Filtrning matematik ma’nosi shundan iboratki, markazga yaqin joylashgan past chastotali komponentalar o‘zgartirilmasdan saqlanadi, markazdan uzoqlashgan yuqori chastotali komponentalar esa olib tashlanadi [4].

Filtrlash: $G_{LP}(u,v)=H_{LP}(u,v)F(u,v)$ ko‘rinishida amalga oshiriladi. Keyin: $g_{LP}(x,y)=F^{-1}\{G_{LP}(u,v)\}$ orqali fazoviy tasvir qayta tiklanadi.

Bizning avvalgi tajribamizda Low-pass filtr qo‘llangandan keyin tasvirning umumiy strukturasi saqlanib qolgan, biroq mayda detallar va yuqori chastotali komponentalar susaygani kuzatilgan.

$$D_0=40$$



1-rasm. Low-pass filtrlangan tasvir

Bu natija Low-pass filtrning asosiy xususiyatini yuqori chastotali komponentalarni susaytirish orqali tasvirni silliqlashini amaliy jihatdan tasdiqlaydi.

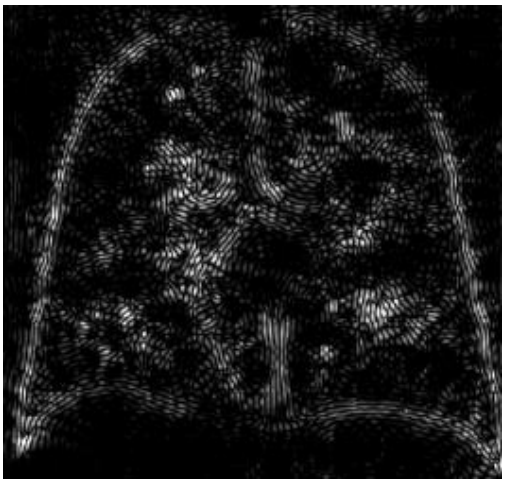
Shu bilan birga, D_0 qiymatining tanlanishi filtr natijasiga bevosita ta’sir qiladi. Kesish radiusi kichiklashtirilsa, yuqori chastotalarning kattaroq qismi olib tashlanadi va tasvir kuchliroq silliqlanadi. Aksincha, D_0 kattalashtirilganda ko‘proq yuqori chastotali komponentalar saqlanib qoladi va tasvirdagi detallar yaxshiroq saqlanadi.

High-pass filtr. High-pass (yuqori chastotali) filtr Low-pass filtrga teskari prinsipda ishlaydi [4, 7]. Uning asosiy vazifasi past chastotali komponentalarni susaytirib, yuqori chastotali komponentalarni saqlab qolishdan iborat. Ideal High-pass filtrning uzatish funksiyasi:

$$H_{HP}(u,v)=\begin{cases}0, D(u,v)\le D_0,\\ 1, D(u,v)>D_0\end{cases}. \qquad (12)$$

Bunda markazga yaqin joylashgan past chastotalar olib tashlanadi, markazdan uzoqroq joylashgan yuqori chastotalar esa saqlanadi. Filtrlangan spektr: $G_{HP}(u,v)=H_{HP}(u,v)F(u,v).$ Teskari Furye almashtirishdan keyin: $g_{HP}(x,y)=F^{-1}\{G_{HP}(u,v)\}$ tasviri hosil qilinadi.

High-pass filtrning muhim xususiyati shundaki, tasvirdagi keskin intensivlik o‘zgarishlari saqlanib qoladi. Tasvir qirralari aynan shunday keskin o‘zgarishlar bilan bog‘liq bo‘lganligi sababli ushbu filtr konturlarni ajratib ko‘rsatishda samarali hisoblanadi [4, 7]. Bizning tajribamizda High-pass filtr qo‘llangandan so‘ng o‘pka tasviridagi qirralar va mayda strukturalarning ajralib chiqishi kuchaygani kuzatildi.



2-rasm. High-pass filtrlangan tasvir

High-pass filtrning o‘ziga xos kamchiligi ham mavjud: shovqin ko‘pincha yuqori chastotali komponentalar tarkibida joylashgani sababli, filtr shovqinni ham kuchaytirib ko‘rsatishi mumkin [7, 9]. Shuning uchun ushbu filtrdan foydalanishda kesish chastotasini oqilona tanlash muhim hisoblanadi.

High-pass filtr – pastki chastotalarni (asosiy yorug‘lik/qorong‘ilik farqlarini) o‘chirib, faqat yuqori chastotali komponentlarni – ya’ni chekkalar, mayda detallar, o‘tkir o‘zgarishlar (o‘pka tomirlari, suyak konturlari, to'qima chegaralari) qoldiradi. Natijada, asosan qora fonda faqat chekka va kontur chiziqlari ko‘rinadigan tasvirga aylanadi (kontrast oshirilgan holda ko‘rsatilgan, aks holda deyarli hech narsa ko‘rinmaydi).

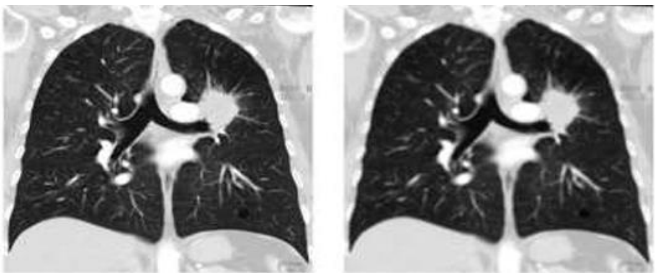
Gauss filtra. Ideal Low-pass va High-pass filtrlarda chastotalarning saqlanish yoki olib tashlanish chegarasi keskin tarzda belgilanadi. Bunday keskin o'tish ayrim hollarda tasvirda ringing effektining paydo bo‘lishiga olib kelishi mumkin [4, 8]. Ushbu muammoni kamaytirish maqsadida chastota komponentalarini silliq ravishda susaytiruvchi Gauss filtridan foydalanish mumkin. Ikki o‘lchovli Gauss filtri:

$$G(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \qquad (13)$$

bu yerda $x, y-$ filtr markazidan boshlab koordinatalar masofasi (markazda *x=0, y=0*), σ (sigma)– Gauss filtrining standart og‘ishi bo‘lib, filtrning chastota bo‘yicha ta’sir darajasini belgilayd (filtrlash parametri).

Gauss filtrining muhim parametrlaridan biri σ hisoblanadi. σ kichik bo‘lganda filtr chastota markazi atrofidagi kichik hududni ko‘proq saqlaydi va natijada kuchliroq silliqlash yuz beradi. σ kattalashganda esa yuqori chastotalarning kattaroq qismi saqlanib qoladi va tasvirdagi detallar nisbatan yaxshiroq saqlanadi. Shuning uchun σ qiymatini tanlash tasvirning shovqin darajasi, kerakli silliqlash darajasi va saqlanishi lozim bo‘lgan detallar xususiyatlariga bog‘liq. Gauss filtri qo‘llangandan keyin tasvirdagi tasodifiy yuqori chastotali komponentalar kamayishi bilan birga, tasvirning umumiy strukturasi saqlanib qoldi. Filtrlash natijasi Low-pass filtrga nisbatan silliqroq va tabiiyroq ko‘rinishga ega bo‘ldi. Ushbu gauss filtrida σ =80 deb olingan.

Asl tasvir Gauss filtrlangan tasvir



3-rasm. Gauss filtrlangan tasvir

Filtrlarning o‘zaro taqqoslanishi. Ko‘rib chiqilgan filtrlarning asosiy farqi ularning chastota komponentalariga ta’sir qilish xarakteri bilan belgilanadi [4].

Filtr	Asosiy vazifasi	Tasvirga ta’siri
Low-pass	Yuqori chastotalarni susaytirish	Silliqlash, shovqinni kamaytirish
High-pass	Past chastotalarni susaytirish	Qirralar va mayda detallarni ajratish
Gauss	Chastotalarni silliq susaytirish	Tabiiyroq silliqlash, ringingni kamaytirish

Ushbu taqqoslashdan ko‘rinadiki, filtrlarni tanlash qayta ishlashdan ko‘zlangan maqsadga bog‘liq [4, 7]. Agar asosiy maqsad shovqinni kamaytirish va tasvirni silliqlash bo‘lsa, Low-pass yoki Gauss filtridan foydalanish maqsadga muvofiq. Agar tasvirdagi qirralar va mayda strukturalarni ajratib ko‘rsatish talab qilinsa, High-pass filtridan foydalanish mumkin.

Xulosa. Ushbu tadqiqotda kompyuter tomografiyasi tasvirlarini Furye almashtirish asosida chastota sohasida qayta ishlash va filtrlash usullari nazariy hamda amaliy jihatdan tadqiq qilindi. Tadqiqot obyekti sifatida o‘pka kompyuter tomografiyasi tasviridan foydalanilib, dastlab

tasvir raqamli koʻrinishga keltirildi va kulrang tasvirning piksel qiymatlaridan tashkil topgan ikki oʻlchovli sonli matritsa shakllantirildi. Tasvir matritsasiga ikki oʻlchovli diskret Furye almashtirishi qoʻllanilishi natijasida chastota sohasidagi kompleks qiymatli spektr hosil qilindi. Teskari Furye almashtirishi yordamida dastlabki tasvirni qayta tiklash jarayoni amalga oshirilib, original va tiklangan matritsalar oʻrtasidagi farq orqali hisoblash aniqligi baholandi. Tadqiqotning avvalgi hisoblash natijalarida ushbu farq juda kichik qiymatlar tartibida ekanligi kuzatildi, bu esa Furye va teskari Furye almashtirishlarining raqamli hisoblash nuqtai nazaridan yuqori aniqlikda bajarilganligini koʻrsatadi. Low-pass filtr yordamida yuqori chastotali komponentalarni susaytirish natijasida tasvir silliqlashib, mayda detallar va yuqori chastotali oʻzgarishlar kamaygani kuzatildi. High-pass filtr qoʻllanganda esa tasvirning qirralari, konturlari va mayda strukturalari yanada yaqqolroq ajralib chiqdi. Shu bilan birga, yuqori chastotali komponentalar tarkibida shovqin ham mavjud boʻlishi mumkinligi sababli, ushbu filtrdan foydalanishda parametrlarni toʻgʻri tanlash zarurligi aniqlandi. Gauss filtri chastota komponentalarini keskin emas, balki silliq ravishda kamaytirishi bilan boshqa filtrlardan farq qildi. Bu holat Gauss filtrining chastota sohasidagi yumshoq uzatish funksiyasi bilan izohlanadi. Low-pass, High-pass va Gauss filtrlarining har biri tasvirni qayta ishlashda turli vazifalarni bajaradi va filtr tanlovi qoʻyilgan amaliy masalaga bogʻliq holda amalga oshirilishi lozim. Olingan natijalar Furye almashtirish va chastota filtrlash usullaridan kompyuter tomografiyasi tasvirlarini raqamli qayta ishlashda samarali matematik vosita sifatida foydalanish mumkinligini koʻrsatadi.

Adabiyotlar

1. Natterer F. The Mathematics of Computerized Tomography. – Springer, 1986.
2. Доля П.Г. Введение в математические методы компьютерной томографии. – Харьковский Национальный Университет механико-математический факультет, 2015.
3. Kak A.C., Slaney M. Principles of Computerized Tomographic Imaging. – SIAM, 2001.
4. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing. – Pearson Education, 2018.
5. Bracewell R. The Furye Transform and Its Applications. – McGraw-Hill, 2000.
6. Oppenheim A. V., Schafer R. W. Discrete-Time Signal Processing. – Pearson, 2014.
7. Pratt W. K. Digital Image Processing. – Wiley-Interscience, 2007.
8. Jain A. K. Fundamentals of Digital Image Processing. – Prentice Hall, 1989.
9. Hansen P.C. Discrete Inverse Problems: Insight and Algorithms. – SIAM, 2010.
10. Engl H.W., Hanke M., Neubauer A. Regularization of Inverse Problems. – Springer.
11. NumPy Documentation. https://numpy.org/