پردازش هوشمند تصاویر زیست پزشکی

نیم‌سال اول ۰۳-۰۲

مدرس: محمدحسین رهبان

دانشگاه صنعتی شریف

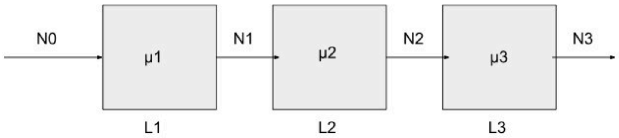
دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر

میان ترم | زمان آزمون: ۱۵۰ دقیقه

---

۱. سوال اول (۱۸ نمره)

در شکل زیر سه ماده‌ی مختلف با میرایی‌هایی μ_1، μ_2، μ_3 داریم که طول هر یک از آن‌ها مطابق شکل زیر است. اگر شدت تشعشع ورودی $N0$ باشد، شدت تشعشع خروجی $N3$ را محاسبه کنید.



$$\mu_3(x) = 3x^2 \quad \mu_2(x) = \frac{1}{x+2} \quad \mu_1(x) = 2x$$

$\ln(L_2+2) - \ln(2)$

حل:

$$N_3 = N_0 e^{-\int_0^{L_1} \mu_1(x)dx} e^{-\int_0^{L_2} \mu_2(x)dx} e^{-\int_0^{L_3} \mu_3(x)dx}$$

$$N_3 = N_0 e^{-\int_0^{L_1} 2xdx} e^{-\int_0^{L_2} \frac{1}{x+2}dx} e^{-\int_0^{L_3} 3x^2dx}$$

$$N_3 = N_0 e^{-(L_1^2 + ln(\frac{L_2+2}{2}) + L_3^3)}$$

$\int \frac{dx}{x+2} = \ln|x+2|$

۲. سوال دوم (۱۵ نمره)

الف) استدلال کنید اعمال فیلتر 3×3 زیر چه تاثیری روی تصویر خواهد داشت. (۷ نمره)

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

حل:

مشابه یک high-pass-filter برای شناسایی مولفه هایی با فرکانس بالا (جزییات) تصویر عمل میکند. علت این امر این است که اگر در بخشی از تصویر تغییر ناگهانی داشته باشیم، یعنی مقدار پیکسل میانی نسبت به پیسکل های اطرافش مقداری با تفاوت بالا داشته باشد، این فیلتر این تفاوت را بیشتر میکند در حالی که اگر مقدار پیکسل میانی با پیکسل های اطراف برابر باشد مقدار خود آن پیسکل را در خروجی خواهیم داشت.

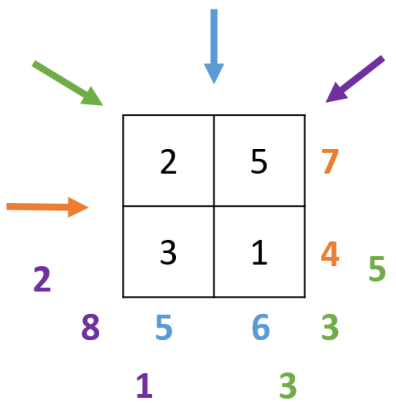
ب) فرض کنید ماتریس ضریب میرایی به شکل زیر باشد. ابتدا بردار سینوگرام را بدست آورید.

$$\begin{bmatrix} 2 & 5 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}$$

تابش فوتون‌ها از سمت چپ ماتریس شروع شده و با گذر از بالای ماتریس به سمت راست آن می‌رسد. سپس با استفاده از الگوریتم Itrative back projection که در کلاس تدریس شد، سعی کنید ماتریس ضرایب میرایی را بازیابی کنید. (۸ نمره)

حل:

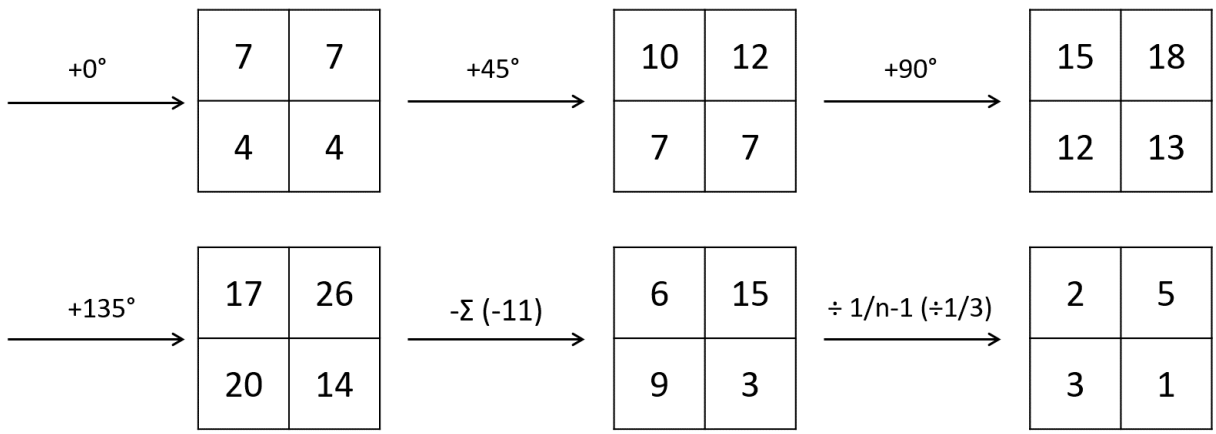
سینوگرام:



sinogram

0	7	4	
45	3	3	5
90	5	6	
135	2	8	1

Iterative back projection:



۳. سوال سوم (۱۰ نمره)

M.sin(α)

درستی یا نادرستی موارد زیر را مشخص کنید (دلیل انتخاب خود را توضیح دهید).

- در میکروسکوپ Drak-field داریم: $NA_{obj} < NA_{cond}$.
درست. از آنجایی که $\alpha_{obj} < \alpha_{cond}$ است تا نورهای background وارد objective نشوند، در نتیجه $sin\alpha_{obj} < sin\alpha_{cond}$ خواهد شد و در نتیجه داریم: $NA_{obj} < NA_{cond}$

- میکروسکوپ Confocal مشکل نورهای out of focus را حل می‌کند.
درست. از آنجایی که در ساختار میکروسکوپ Confocal یک Pinhole قرار داده شده است که از ورود نورهای اضافه جلوگیری شود، در نتیجه مشکل نورهای out of focus حل می‌شود.

- سرعت خوب تصویربرداری از مزایای میکروسکوپ Confocal است.
غلط. در میکروسکوپ Confocal به دلیل تصویربرداری نقطه به نقطه سرعت تصویربرداری پایین است.

- در میکروسکوپ TEM لازم نیست جسم زیر میکروسکوپ حتما نازک برش خورده باشد.
غلط. از آنجایی که در میکروسکوپ TEM نیاز است تا الکترون از جسم عبور کند، برای اینکه این امکان فراهم باشد باید حتما جسم نازک برش خورده باشد.

۴. سوال چهارم (۳۶ نمره)

الف) معادله ی زیر را در نظر بگیرید

$$y[n] = x_1[n] * x_2[n] * x_3[n]$$

که در آن:

$$x_1[n] = (0.5)^n u[n], \quad x_2[n] = u[n+3], \quad x_3[n] = \delta[n] - \delta[n-1]$$

یک بار $y[n]$ را ابتدا با محاسبه کردن کانولوشن $x1$ و $x2$ و بار دیگر با ابتدا محاسبه کردن کانولوشن $x2$ و $x3$ بدست بیاورید.

حل:

روش اول

$$\begin{aligned} y_1[n] &= x_1[n] * x_2[n] \\ &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} x_1[k] x_2[n-k] \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} (0.5)^k u[n+3-k]. \end{aligned}$$

که این به صورت زیر ساده‌سازی می‌شود

$$y_1[n] = x_1[n] * x_2[n] = \begin{cases} 2\{1-(1/2)^{n+4}\}, & n \geq -3 \\ 0, & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

بنابراین:

$$y[n] = x_3[n] * y_1[n] = y_1[n] - y_1[n-1].$$

بنابراین،

$$y[n] = \begin{cases} 2\{1-(1/2)^{n+3}\} + 2\{1-(1/2)^{n+4}\} = (1/2)^{n+3}, & n \geq -2 \\ 1, & n = -3 \\ 0, & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

در نتیجه، $y[n] = (1/2)^{n+3} u[n+3]$.

روش دوم

مشابه حالت اول، رابطه زیر بدست می‌آید:

$$y_2[n] = x_2[n] * x_3[n] = u[n+3] - u[n+2] = \delta[n+3].$$

$$y[n] = y_2[n] * x_1[n] = x_1[n+3] = (1/2)^{n+3} u[n+3].$$

ب) سیگنال $x[n] = sin(2n)$ را داخل سیستمی با تبدیل فوریه جواب ضربه $H(\omega) = 1/(2 + e^{-j\omega})$ می‌فرستیم. خروجی سیستم به صورت دنباله‌ای از n به چه صورت است؟

حل:

از مبحث توابع ویژه که در جلسه دوم حل تمرین نیز اشاره شد استفاده می‌کنیم.

$$x[n] = \sin(2n)$$

می‌دانیم اگر ورودی به صورت $x[n] = e^{jan}$ باشد. خروجی برابر $y[n] = H(e^{ja})e^{jan}$ خواهد بود.
لذا

$$\begin{aligned} x[n] &= \sin(2n) \\ &= \frac{1}{2j}e^{2jn} + \frac{-1}{2j}e^{-2jn} \end{aligned}$$

بنابراین خروجی برابر است با:

$$\begin{aligned} y[n] &= \frac{1}{2j}H(e^{j2})e^{2jn} + \frac{-1}{2j}H(e^{-j2})e^{-2jn} \\ &= \frac{1}{2j(2+e^{-2j})}e^{2jn} - \frac{1}{2j(2+e^{2j})}e^{-2jn} \end{aligned}$$

۵. سوال پنجم (۱۴ نمره)

به سوالات زیر پاسخ دهید:
آ) می‌خواهیم بیماری MS را توسط عکس MRI تشخیص دهیم. این را می‌دانیم که این بیماری باعث ایجاد زخم یا پلاک در نواحی مختلف مغز می‌شود. تصادفی بودن نقاط این زخم‌ها باعث چالش برانگیز بودن این مسئله می‌شود. مجموعه داده‌ای که در اختیار دارم شامل تصاویر از افراد سالم و بیمار می‌باشد. با استفاده از یک معماری مبتنی بر شبکه‌های عصبی توانسته ایم یک دسته‌بند روی این دادگان آموزش دهیم. این دیتاست مجموعه تست بسیار کوچکی دارد، برای ارزیابی این معماری ارائه شده روشی پیشنهاد دهید که بتوانیم به وسیله آن علاوه بر مطمئن شدن از عملکرد صحیح این مدل، پزشکان را نیز قانع کنیم که این روش موثر است (۶ نمره).
ب) چرا scanning در میکروسکوپ های confocal حیاتی است؟ (۲.۵ نمره)
ج) چطور می‌توان دقت تصویر[1] را در تصاویر STED افزایش داد؟ دلیل خود را توضیح دهید. (۲.۵ نمره)

د) درمورد مصالحه میان SNR، دوز پرتو تابش شده و رزولوشن تصویر ایجاد شده توضیح دهید. (۳ نمره)

حل:
الف)
از آنجایی که تعداد دادگان تست کم هستند و از طرفی می‌خواهیم پزشکان را قانع کنیم که این مدل عملکرد خوبی دارد؛ بهترین راه استفاده از تفسیرپذیری است. با استفاده از تفسیرپذیری می‌توانیم بررسی کنیم که مدل براساس چه نقاطی برچسب را تخمین می‌زند. با نشان دادن این نقاط به پزشک و گرفتن تایید آن‌ها بابت معتبر بودن نقاط مورد توجه مدل،

[1] Resolution

می‌توان عملکرد خوب آن را توجیح کرد. از طرفی می‌توان با سگمنت کردن تصویر و در نظر گرفتن تعداد پلاک‌های هر تصویر به عنوان یک برچسب دیگر، بر این اساس مدل را اعتبارسنجی سخت‌تری کرد که بایستی تصویر را به درستی سگمنت کرده و تعداد را به درستی استخراج کند (البته این راه سگمنتیشن ممکن است به دلیل کمبود دادگان چالش برانگیز شود).

ب)

در این روش در هر لحظه نقطه بسیار کوچکی از یک عمق خاص از نمونه مشخص است. برای مشاهده کامل یک سطح از نمونه لازم است که به صورت کامل تمامی نقاط آن سطح پوشش داده شود. برای همین منظور نیاز است تا فرآیند scanning انجام شود. همچنین برای خروجی گرفتن یک تصویر سه بعدی از نمونه لازم است که در عمق‌های مختلف همین فرآیند تکرار شود.

ج)

در تصاویر STED فرمول مربوط به رزولوشن برابر است با $d = \frac{\lambda}{2\mu \sin\alpha \sqrt{1+\frac{I}{I_s}}}$. در نتیجه برای کاهش d و افزایش رزولوشن می‌توانیم I_s را افزایش بدهیم.

د)

با توجه به فرمول $SNR = \frac{N}{\sqrt{N}}$ برای افزایش رزولوشن باید دوز را افزایش دهیم. چون SNR با $\sqrt{N}$ ارتباط دارد، با n^2 برابر کردن N ، SNR n برابر می‌شود.

۶. سوال ششم (۷ نمره)

زمان $T1$ و $T2$ مربوط به یکی از بافت های بدن به صورت جدول زیر است:

بافت	$T1(msec)$	$T2(msec)$
چربی	۲۵۰	۷۰

اگر بخواهیم یك عکس MRI -weighted $T2$ از این بافت داشته باشیم بهترین گزینه زمان TE و TR از از بین گزینه های زیر کدام است؟ دلیل انتخاب خود را شرح دهید.

1. $TE = 5, TR = 3000$ M_0
2. $TE = 70, TR = 4000$ T_2
3. $TE = 10, TR = 300$ T_1

حل:

تاثیرگذار

جواب گزینه دوم است.

فرمول سیگنال نهایی به صورت زیر است:

$$S(\mathrm{TR}, \mathrm{TE}) = \underbrace{\left(1 - e^{-\mathrm{TR}/T_1}\right)}_{1-0} M_0 e^{-\mathrm{TE}/T_2}$$

در گزینه اول چون TR بسیار بزرگتر از $T1$ است، ترم $(1-e^{-\mathrm{TR}/T_1})$ به یک میل می‌کند و چون TE نیز بسیار کوچکتر از $T2$ است، ترم $(e^{-\mathrm{TE}/T_2})$ نیز به یک میل می‌کند و عملا در خروجی ما مقدار M_0 را می‌گیریم. پس این گزینه اشتباه است.

در گزینه سوم نیز مشابه گزینه اول چون TE بسیار از $T2$ کوچک‌تر است، ترم $(e^{-\mathrm{TE}/T_2})$ به یک میل می‌کند و بی‌تاثیر می شود.

اما در گزینه دوم چون TR بسیار بزرگتر از $T1$ است، ترم $(1 - e^{-\mathrm{TR}/T_1})$ به یک میل می‌کند ولی چون TE در اُردر $T2$ است، ترم $(e^{-\mathrm{TE}/T_2})$ تاثیر گذار می‌شود و ما می‌توانیم تصویر weighted - $T2$ بگیریم.