Försättsblad till skriftlig tentamen vid Linköpings Universitet

Datum för tentamen	2012-10-25
Sal	TER2
Tid	14-18
Kurskod	TSBB31
Provkod	TEN1
Kursnamn/ Benämning	Medicinska Bilder
Institution	ISY
Antal uppgifter som ingår i tentamen	20
Antal sidor på tentamen (inkl. försättsblad)	11dubbelsidiga sidor => 6 papper
Jour/Kursansvarig	Maria Magnusson, Maria.Magnusson@liu.se
Telefon under skrivtid	177786, 281336 073-804 38 67
Besöker salen ca kl.	14.50 och 16.50
Kursadministratör	Carina Lindström, Carina.E.Lindstrom@liu.se 284423
Tillåtna hjälpmedel	• Miniräknare • Blank OH-film • Medskickad formelsamling • Physics Handbook • Transformteori sammanfattning formler & lexikon (blå färg)

Anvisningar

Tentamen består av 6 delar om totalt 50p:

- Del 1: Grundläggande 2D signalbehandling (14p)
- Del 2: Röntgen och CT (8p)
- Del 3: Gamma-kamera, SPECT och PET (9p)
- Del 4: Mikroskopi, mm (4p)
- Del 5: Ultraljud (7p)
- Del 6: MRI (8p)

Notera att Del 1-6 har mycket gemensamt. Ibland kan en fråga passa in på flera ställen.

Tentamen innehåller frågor av olika typ:

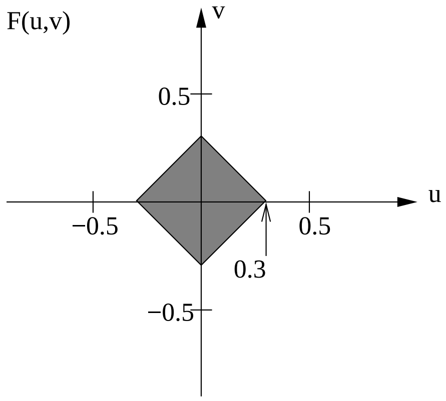
- Kortare frågor som innebär att kunna beskriva begrepp, fenomen. Svaren skrivs direkt under frågan i tentamen.
- Längre fråga som innebär att kunna visa lite djupare förståelse, t ex redogörelser och räkneuppgifter. Svaren behöver ofta ges på lösa blad som bifogas tentamen.

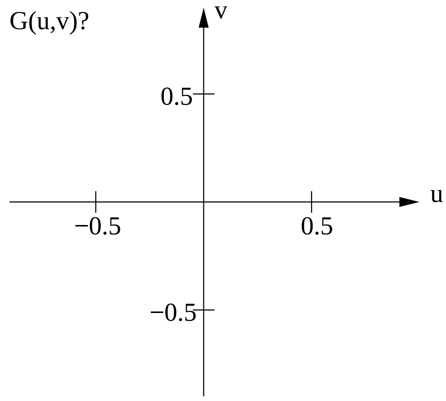
Betygsgränser:

- 3:a 21-30p
- 4:a 31-40p
- 3:a 41-50p

DEL 1: Grundläggande 2D signalbehandling

Uppgift 1 (2p) Funktionen $f(x,y)$ har en 2D fourier transform $F(u,v)$ som visas i figuren nedan till vänster. $F(u,v) \neq 0$ i den skuggade arean och $F(u,v) = 0$ utanför den skuggade arean.





Funktionen $f(x,y)$ samplas med ett 2D impuls-tåg till

$$g(x,y) = f(x,y) \cdot \sum_n \delta(x-2n) \cdot \sum_m \delta(y-2m),$$

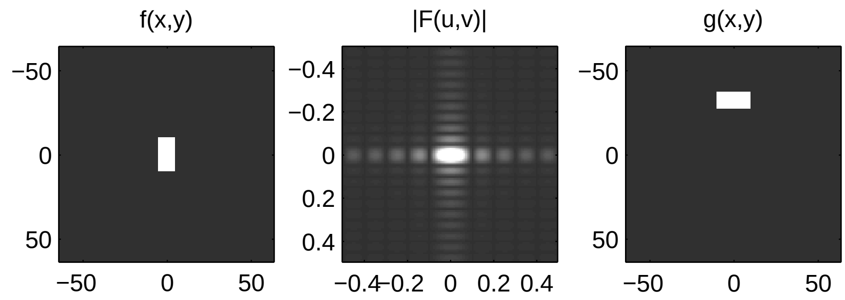
dvs samplingsavståndet är $\Delta = 2$ i båda riktningarna. Skissa $G(u,v)$ i (u,v)-planet ovan till höger! Fick du någon vikningsdistorsion? Markera i så fall ett sådant ställe med en pil!

Uppgift 2 (2p) Skriv upp ett uttryck för $G(u,v)$ i föregående uppgift som inte innehåller dirac-pulser, men däremot summatecken och $F(\ )$.

Uppgift 3 (2p) Betrakta faltningskärnan sobelx = $\begin{array}{|c|c|c|}\hline 1 & 0 & -1 \\ \hline 2 & 0 & -2 \\ \hline 1 & 0 & -1 \\ \hline \end{array}$ /8 .

- Beräkna faltningen mykernel = sobelx $*$ sobelx.
- Antag att $f(x,y)$ är en bild. Betrakta faltningen $g(x,y) = \text{mykernel} * f(x,y)$. Bilden $g(x,y)$ blir då approximativt en derivata av $f(x,y)$.Vilken?

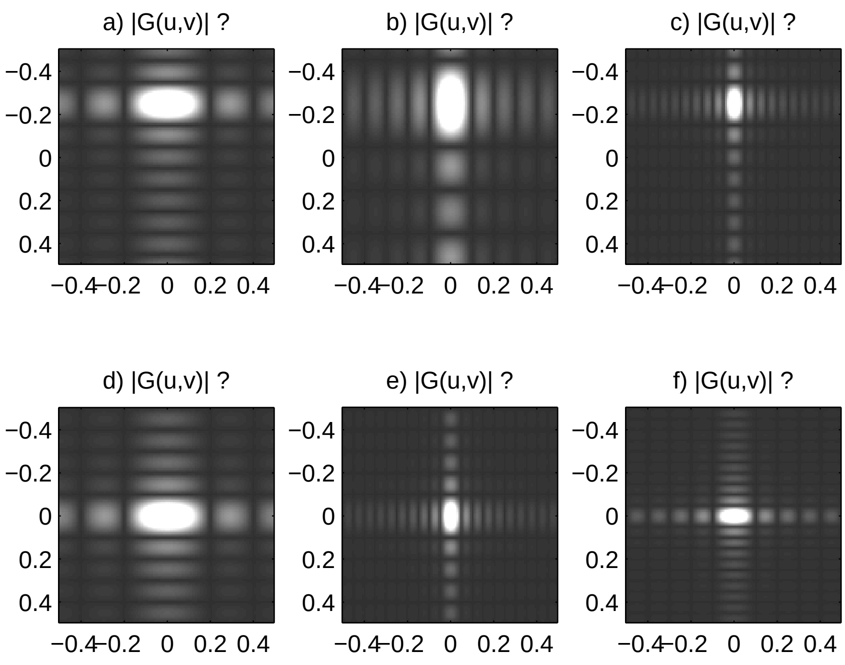
Uppgift 4 (4p) Nedan visas en testbild $f(x, y)$ och absolutbeloppet av dess fouriertransform $|F(u, v)|$. Dessutom visas en skalad och translaterad version av testbilden, $g(x, y)$.



- Bestäm fouriertransformen av

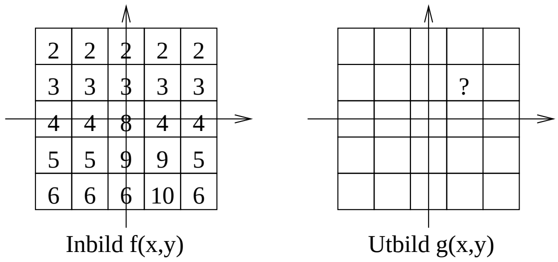
$$f(x, y) = \Pi\left(\frac{x}{10}\right) \cdot \Pi\left(\frac{y}{20}\right).$$

- Hur ser absolutbeloppet av fouriertransformen av $g(x, y)$, dvs $|G(u, v)|$, ut? Välj ett av nedanstående alternativ a) - f) och motivera ditt val med en kort redogörelse där orden *translationsteoremet* och *skalningsteoremet* ingår.



LÖS UPPGIFTEN PÅ SEPARAT BLAD

Uppgift 5 (4p) Bilden $f(x, y)$ ska roteras moturs 60°. Din uppgift är att beräkna värdet på pixeln markerad med frågetecken (?) i utbilden $g(x, y)$.



- Använd närmsta granne interpolation.
- Använd bilinjär interpolation.

Ledning: Interpolationskärnan vid bilinjär interpolation är $\Lambda(x) \cdot \Lambda(y)$ där

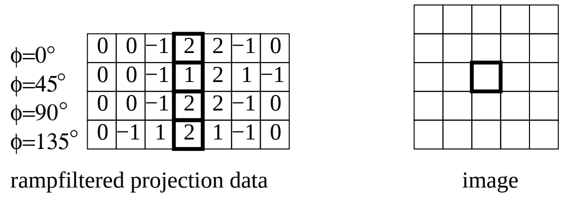
$$\Lambda(x) = \begin{cases} 1 - |x|, & -1 \leq x \leq 1, \\ 0, & \text{annars.} \end{cases}$$

LÖS UPPGIFTEN PÅ SEPARAT BLAD

DEL 2: Röntgen och CT

Uppgift 6 (2p) Rekonstruktion med filtrerad återprojektion för parallella projektionsdata innehåller stegen: (1) ramp-filtrering, (2) återprojektion.
Hur förändras då rekonstruktionsmetoden då indata är "fanbeam"-projektioner? Skriv vilka steg som tillkommer och beskriv hur återprojektionen förändras.

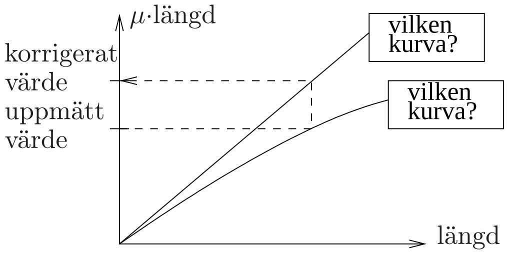
Uppgift 7 (3p) Figuren nedan visar parallell rampfiltrerad återprojektion från 4 olika vinklar. Beräkna (parallell) återprojektion med närmsta granne interpolation. Mittpixeln i bilden och projektionerna är markerad med en tjockare ram. Samplingsavståndet i bilden och projektionerna är samma. Visa både mellanresultat och slutresultat.



LÖS UPPGIFTEN PÅ SEPARAT BLAD

Uppgift 8 (3p) Enkel beam-hardening korrektion mot vatten görs normalt sett alltid i en medicinsk CT-scanner. Svara på följande frågor.

- Varför blir det beam-hardening?
- Se figuren nedan. Vilka är kurvorna? Vad är det som korrigeras?
- Hur blir bildkvaliteten efter denna typ av korrektion? Resonera i termer om “perfekt”, “ganska bra”, “inte så bra”, “vatten”, “mjukdelar”, “benvävnad”.



LÖS UPPGIFTEN PÅ SEPARAT BLAD

DEL 3: Gamma-kamera, SPECT och PET

Uppgift 9 (2p) Berätta om den innersta principen för PET. Följande nyckelord ska ingå och förklaras i din beskrivning (ett av nyckelorden ska INTE ingå):
a) 511 keV, b) tidsfönster, c) radioaktivt material, d) proton, e) positron, f) elektron

Uppgift 10 (2p) Inom nukleärmedicinen mäter vi radioaktivt sönderfall. Det radioaktiva sönderfallet är Poisson-distibuerat. Då är den uppmätta signalens väntevärde μ_N och varians σ_N^2 lika. Betrakta SNR_a (Amplitud Signal-till-brusförhållandet),

$$SNR_a = \frac{\text{signalamplitud}}{\text{brusamplitud}}.$$

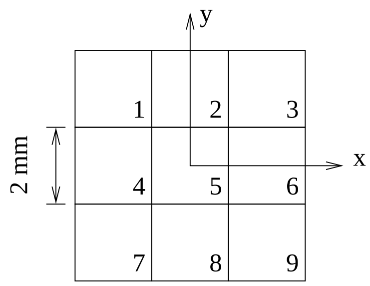
SNR_a kan förenklas så att det bara beror av μ_N. Gör detta! Tala sedan om hur SNR_a beror av hur mycket radioaktivt material vi sprutar in i patienten.

Uppgift 11 (3p) På SPECT-laboration beräknade vi CV-värden på lungor för att bedöma hur sjuka de var. Det gäller att $CV = \sigma/\mu \approx s/m$. Enligt matematisk statistik ges medelvärdet och standardavvikelsen av ett stickprov av

$$m = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} f_n, \qquad s = \sqrt{\frac{N}{N-1}\left(\left[\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} f_n^2\right] - m^2\right)}.$$

Skriv nu MATLAB-kod där du visar hur man kan beräkna en CV-volym baserad på värdet i $9\times 9\times 9$-omgivningar av volymen `SPECTvol`.
Du behöver troligen bland annat använda koden
`kernel = ones(9,9,9);`
som skapar en liten volym med ettor, och funktionen
`convn`
som utför faltning. `convn` tar tre argument: bilden, faltningskärnan och `'same'`. (På labben specialbehandlade vi områden som låg nära kanten på lungorna. Det behöver ni inte göra här.)

Uppgift 12 (2p) När en gammafoton avger sin energi i scintillator-kristallen emitterar denna ljusfotoner som registreras av fotomultiplikatorer. En gammakamera (Anger-kamera) kan t ex ha 61st fotomuliplikatorer arrangerade i ett hexagonalt mönster. Den oinsatte kan då tro att upplösningen är ganska dålig, vilket dock inte stämmer!
Betrakta nedanstående mycket förenklade gammakamera med 9 st numrerade fotomultiplikatorer. Antag att de registrerade intensiteterna är: $a_1 = 0$, $a_2 = 10$, $a_3 = 0$, $a_4 = 10$, $a_5 = 40$, $a_6 = 30$, $a_7 = 0$, $a_8 = 30$, $a_9 = 0$.



Följande ekvationer behövs

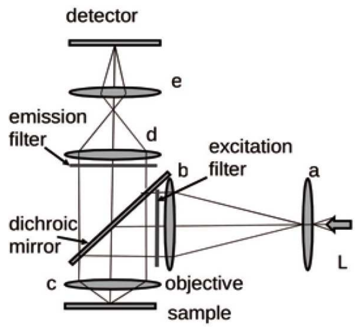
$$Z = \sum_{k=1}^{K} a_k, \qquad X = \sum_{k=1}^{K} x_k a_k, \qquad Y = \sum_{k=1}^{K} y_k a_k.$$

Bestäm gammafotonens position (X_{pos}, Y_{pos}) i mm!

LÖS UPPGIFTEN PÅ SEPARAT BLAD

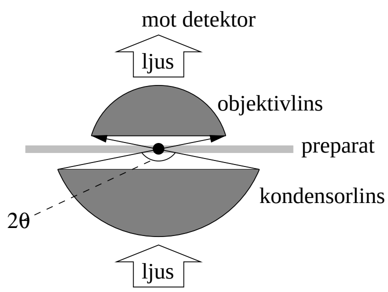
DEL 4: Mikroskopi, mm

Uppgift 13 (2p) Figuren visar en principskiss över "fluorescence"-mikroskopet. Beskriv hur ljuset "L", spegeln "dichroic mirror" och preparatet "sample" fungerar tillsammans.



Uppgift 14 (2p) Bestäm bästa möjliga upplösning i ett ljusmikroskop! Se nedanstående formel, figur, mm. (Några upplysningar är oanvändbara och en är både fel och oanvändbar.)

$$d = 1.22 \cdot \lambda \cdot \frac{1}{n \cdot 2 \sin \theta}$$



- Brytningsindex är 1 för luft. Det finns oljor som har brytningsindex upp till 1.4. Brytningsindex i glaslinserna kan variera mellan 1 till 3.
- Våglängdsområdet för ljus är $0.39 - 0.77\ \mu m$.

DEL 5: Ultraljud

Uppgift 15 (3p) Nedan visas spektra $|F(\omega)|^2$, $|R(\omega)|^2$, $|Q(\omega)|^2$, $|E(\omega)|^2$, för 1D-signalerna **I-IV**, se nedan. Frekvensaxeln visar normerad vinkelfrekvens, dvs $\omega = 2\pi f/f_s$, där $f_s = 20$ MHz är samplingsfrekvensen. Som synes är magnituderna normaliserade.

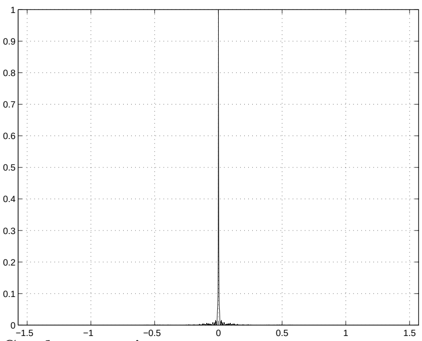
Para ihop signalerna **I-IV** med korrekt spektrum **A-D** och förklara spektrumets/signalens utseende. Svar utan motivering ger 0 poäng.

I. Signalen $f(t) = \cos(2\pi f_0 t)$ viktad med ett cos-fönster, $f_0 = 1.66$ MHz.

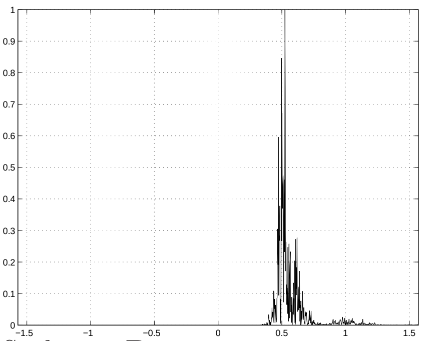
II. Signalen $r(t)$, som är mottaget eko från en transmitterad ultraljudsvåg $f(t)$.

III. Signalen $q(t) = r(t) * h(t)$, där $h(t)$ är ett kvadraturfilter med centerfrekvens $\omega_c = 2\pi f_0/f_s$ och relativ bandbredd $B = 2$.

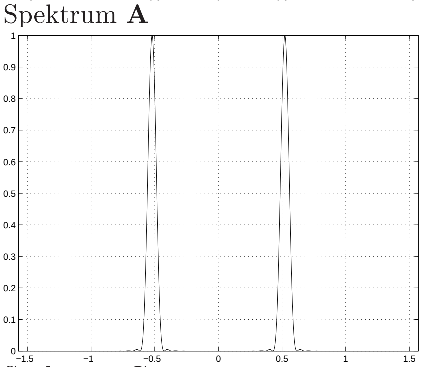
IV. Signalen $e(t) = |q(t)|$.



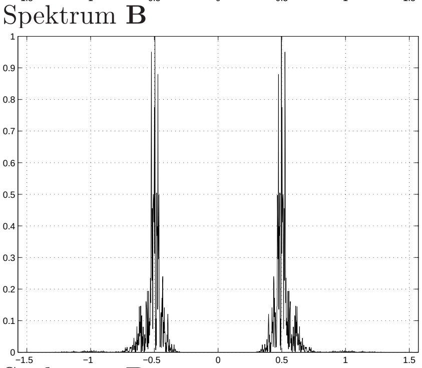
Spektrum **A**



Spektrum **B**



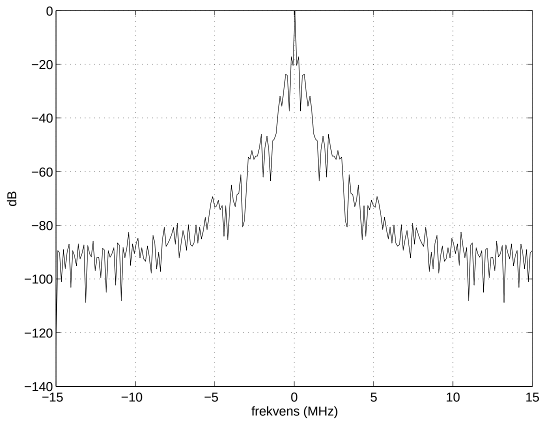
Spektrum **C**



Spektrum **D**

Uppgift 16 (2p) Ett alternativ till kvadraturfilter är att använda en AM-demodulator. Rita ett flödesscheman över en klassisk AM-demodulator med LP-filter och envelopp-detektion.

Uppgift 17 (2p) Ultraljudssignalen $a(t)$ samplas med samplingsfrekvensen $f_s = 30\,\text{MHz}$ och har en bärvåg på $f_0 = 2.5\,\text{MHz}$. Kalla den detekterade enveloppen $b(t)$. Dess spektrum $|B(f)|^2$ visas i figuren nedan. Notera att skalan för y-axeln är angiven i dB, d.v.s. $20\,\log_{10}(|B(f)|^2)$. Hur mycket är det lämpligt att sampla ned den detekterade enveloppen $b(t)$ om spektrumkomponenter vars energi är mindre än 1% av den starkaste komponenten kan anses oviktiga? Motivera ditt svar!



DEL 6: MRI

Uppgift 18 (2p) Hur bör samplingspunkterna i k-space ändras om man...

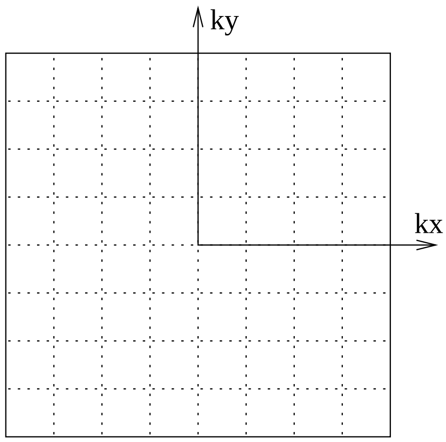
- vill ha högre spatiell upplösning?
- vill ha en större FOV (field of view), d.v.s. avbilda ett större område?

Uppgift 19 (2p) När MR används för att ta tvådimensionella bilder av t.ex. någon kroppsdel, vill man bara ha signal från en tunn skiva av denna vid insamling av k-rummet. Beskriv hur man gör för att bara aktivera en tunn skiva och vad som begränsar hur tunn skiva man kan aktivera!

Uppgift 20 (4p) I en MR-undersökning exciteras ett 2D snitt, en avsökning av k-space görs med följande sekvens av gradienter (Gx, Gy). Avsökningen startar i origo och varje värde gäller under 2 μs:

$$Gx = -1, \; 0, 1, 1, 0, 0, -1, -1, -1, \; 0, \; 0, \; 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, -1, -1, -1, -1, -1, \text{osv}$$
$$Gy = \; 0, -1, 0, 0, 1, 1, \; 0, \; 0, \; 0, -1, -1, -1, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, \; 0, \; 0, \; 0, \; 0, \; 0, \text{osv}$$

- Rita in koordinaterna för avsökningen av k-space i figuren nedan.



- Hur lång blir (minst) den totala avsökningstiden om man vill kunna se detaljer i objektet som är ned till 1/512 x 1/512 av objektets storlek?