

## Tentamen i

# Bildsensorer TSBB09

<i>Tid:</i>	2021-03-15, kl 14-18
<i>Lokaler:</i>	Distans
<i>Ansvarig lärare:</i>	Maria Magnusson finns anträffbar på telefon och mail: tel 013 - 281336 maria.magnusson@liu.se
<i>Distans hjälpmedel:</i>	Eftersom tentan går på distans, får du använda kursmaterialet. En miniräknare eller t ex Matlab är också användbart. Det är dock INTE tillåtet att ta hjälp av andra människor!

Den skriftliga tentamen består av 3 delar, en del för var och en av de tre kursmålen i läroplanen. Den består av totalt 24 uppgifter och ger högst 30 poäng. Varje del består av 6 uppgifter där studenten ska demonstrera sin förmåga att förklara begrepp, fenomen etc (typ A-övningar) och ytterligare två övningar som testar en djupare förståelse för olika ämnen i kursen, till exempel i termer av enklare beräkningar (typ B-övningar). Typ A-övningar ger högst 1 poäng vardera. Typ B-övningar ger högst 2 poäng vardera.

För betyg 3: Minst totalt 4 poäng vardera i var och en av de tre delarna och minst 14 poäng totalt.

För betyg 4: Minst 6 poäng vardera i var och en av de tre delarna och minst 20 poäng totalt.

För betyg 5: Minst totalt 8 poäng vardera i var och en av de tre delarna och minst 26 poäng totalt.

Det räcker med att skriva namn och personnummer på första sidan. Arrangera sidorna i samma ordning som uppgifterna!

Lycka till!  
Maria Magnusson

---

## DEL I: STANDARD & IR BILDSSENSORER

---

### Uppgift 1 (A, 1p) Bildformering

En kamera har en punktspridningsfunktion (PSF) som är relaterad till det optiska systemet.

Vad är formen på denna PSF? Ge en ekvation, skiss eller noggrann beskrivning.

Om kameran är ur fokus, fås en annan PSF. Vad är formen på denna PSF?

---

### Uppgift 2 (A, 1p) Bildformering

Kamerans upplösning i termer av den minsta detalj,  $\Delta x$ , som kan upplösas beror på punktspridningsfunktionen (PSF) som är relaterad till det optiska systemet.

Ge en ekvationen för  $\Delta x$ , förklara alla ingående komponenter och notera dess enheter.

---

### Uppgift 3 (A, 1p) Bildsensorer

Hur manifesterar sig “*blooming*” i en bild?

---

### Uppgift 4 (A, 1p) Bildsensorer

Vad händer elektroniskt när “*blooming*” inträffar?

---

### Uppgift 5 (A, 1p) Infraröda och Multispektrala Bilder

I en ideal sensor har alla pixlar samma respons-funktion och ingen temporal variation. Men en verklig sensor är inte perfekt och IR-sensorer är sämre än sensorer för synligt ljus.

Det finns olika metoder att korrigera pixlarnas respons-funktion i IR-sensorer, så kallade “non-uniformity corrections” (NUC). Beskriv en sådan metod.

---

### Uppgift 6 (A, 1p) Infraröda och Multispektrala Bilder

I en ideal sensor har alla pixlar samma respons-funktion och ingen temporal variation. Men en verklig sensor är inte perfekt och IR-sensorer är sämre än sensorer för synligt ljus.

Vi kan dela in pixlarna i en IR-sensor i tre grupper:

- a) normala (normal)
- b) dåliga (bad)
- c) döda (dead)

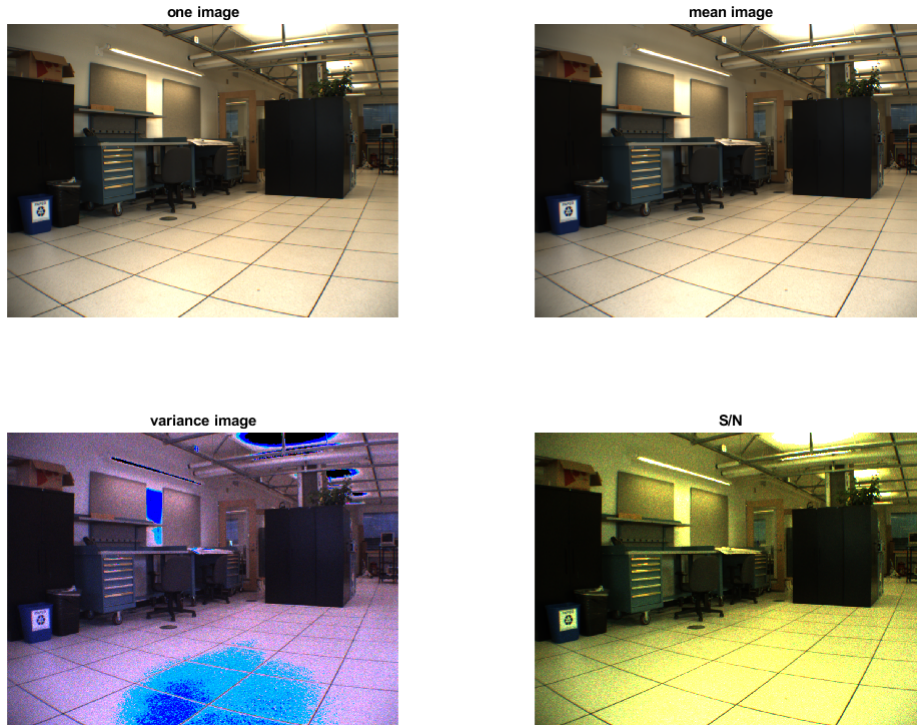
Vad gäller för den temporala variationen (temporal noise) för dessa tre? Rangordna dem!

---

---

### Uppgift 7 (B, 2p) Bildsensorer

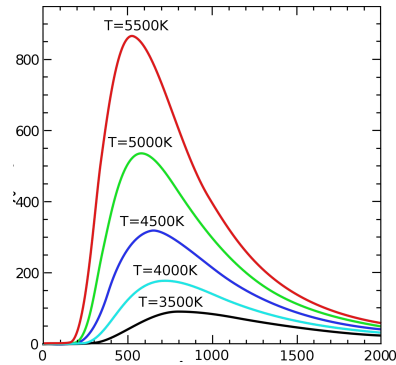
Ett data-set består av 100 bilder,  $im1$  -  $im100$ , tagna på samma scen vid olika tidpunkter. Figuren nedan visar en bild  $im1$ , medel-bilden  $imm$ , varians-bilden  $imvar$  och signal-till-brusförhållandet  $S/N$ , där  $S$  är signaleffekten och  $N$  är bruseffekten.



- Hur beräknas  $imvar$  från  $im1$ - $im100$ ? Ge en ekvation!
  - Hur beräknas  $S/N$  från  $imm$  och  $imvar$ ? Ge en ekvation!
  - $S/N$ -bilden påminner om original-bilden, men är gulare. Förklara den troliga orsaken till detta.
  - Varför är varians-bilden  $imvar$  ibland svart där medel-bilden är vit? Se t ex de svarta fläckarna i taket.
-

---

### Uppgift 8 (B, 2p) Infraröda och Multispektrala Bilder



- a) Kurvorna ovan är baserade på en ekvation som motsvarar en lag. Vad kallas lagen?
  - b) Vad exakt visar kurvorna? (Svara inte med lagens namn igen!)
  - c) Vad är storheten och enheten på den horisontella axeln?
  - d) Om ekvationen som nämns i a) integreras erhålles en annan lag, nämligen  $W = \sigma T^4$ . Vad kallas denna lag?
-

---

## DEL II: KAMERA-GEOMETRI OCH KALIBRERING

---

### Uppgift 9 (A, 1p)

En kamera har den intrinsiska kameramatrisen

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \alpha & \gamma & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Vad representerar parametrarna  $u_0$  and  $v_0$ ?

---

### Uppgift 10 (A, 1p)

De externa parametrarna för en specific kamera ges av

$$[\mathbf{R} \ \mathbf{t}] = \begin{pmatrix} 0.866 & 0.5 & 0 & 0 \\ -0.5 & 0.866 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Vilken vinkel är kameran roterad med (tecknet behöver inte anges) och hur är kamerans optiska axel orienterad i förhållande till världskoordinatsystemet?

---

### Uppgift 11 (A, 1p)

Det gäller att

$$s \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{C} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{A}[\mathbf{R} \ \mathbf{t}] \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix},$$

där  $(X, Y, Z)$  är koordinater i världen och  $(u, v)$  är koordinater i bilden. Med hjälp av en kalibreringsprocedur med ett 3D kalibreringsobjekt kan man bestämma  $\mathbf{C}$ . Det är sedan möjligt att lösa ut  $\mathbf{A}[\mathbf{R} \ \mathbf{t}]$  ur  $\mathbf{C}$ .

Vad kallas proceduren att lösa ut  $\mathbf{A}[\mathbf{R} \ \mathbf{t}]$  ur  $\mathbf{C}$ ?

Vad är den främsta nackdelen med att kalibrera på detta sätt jämfört med att använda Zhangs metod?

---

### Uppgift 12 (A, 1p)

Zhangs metod för kamerakalibrering är baserad på uttrycket

$$\lambda \mathbf{A} [\mathbf{r}_1 \ \mathbf{r}_2 \ \mathbf{t}] = [\mathbf{h}_1 \ \mathbf{h}_2 \ \mathbf{h}_3],$$

där  $[\mathbf{h}_1 \ \mathbf{h}_2 \ \mathbf{h}_3]$  är den uppmätta homografin för en vy av kalibreringsmönstret. Genom att utnyttja att  $\mathbf{r}_1$  och  $\mathbf{r}_2$  är ortonormala kan vi formulera två ekvationer för  $\mathbf{A}$ ,

$$\begin{aligned} \mathbf{h}_1^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{h}_2 &= 0 \\ \mathbf{h}_1^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{h}_1 &= \mathbf{h}_2^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{h}_2 \end{aligned}$$

Varför är det viktigt att eliminera  $\mathbf{r}_1$  och  $\mathbf{r}_2$ ?

---

---

**Uppgift 13** (A, 1p)

Du håller på att göra ett sfäriskt panorama av två bilder, Bild1 och Bild2.

Korresponderande punkter hittas i bilderna, dessa mappas på en sfär och via en Procrustes-algoritm erhålls rotationsmatrisen

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} 0.9848 & -0.1710 & 0 \\ 0.1736 & 0.9698 & -0.1710 \\ 0 & 0.1736 & 0.9848 \end{pmatrix}.$$

Bestäm skillnaden i vinkel mellan Bild1 och Bild2!

---

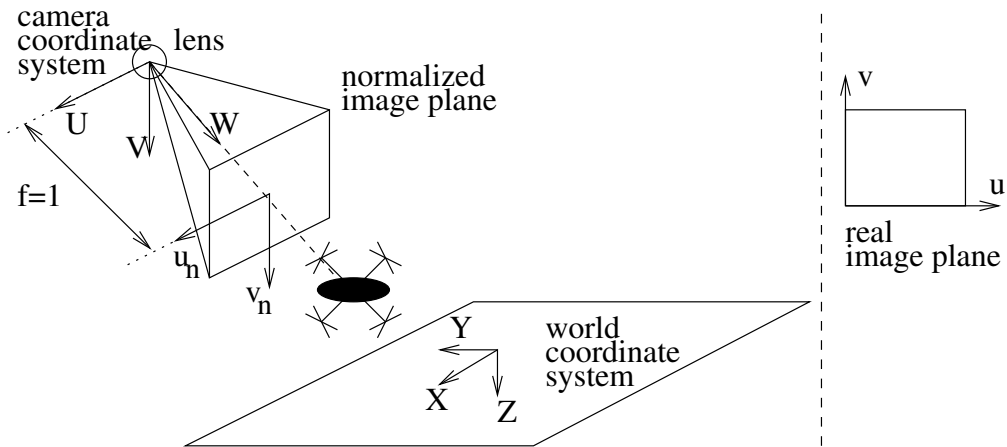
**Uppgift 14** (A, 1p)

Förklara hur en blandningsfunktion ("blending weight function") kan användas i "panorama stitching". Nämn också varför det är fördelaktigt att använda det.

---

**Uppgift 15** (B, 2p) Figuren nedan visar en kamera med ett normaliserat bildplan i världen. Det verkliga bildplanet i kameran visas till höger. (Fast egentligen är ju dess position i kameran.) Relationerna mellan koordinatsystemen är:

$$s \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{A}[\mathbf{R} \mathbf{t}] \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{A} \begin{pmatrix} u_n \\ v_n \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} 355 & 0 & 500 \\ 0 & 320 & 400 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$



Kameran kan rotera i två vinkelriktningar  $\theta_u$  och  $\theta_v$  (horisontellt och vertikalt). Kameran ska följa ett föremål i scenen, här en drönare. Vid någon tidpunkt befinner sig drönaren vid bildkoordinaten  $(u, v) = (277, 117)$ . Hur mycket ska kameran rotera, i termer av vinklarna  $\theta_u$  och  $\theta_v$ , för att förflytta drönaren till bildens centrum?

---

---

**Uppgift 16 (B, 2p) Mätning med kalibrerad avståndskamera. Även relaterad till DEL III.**

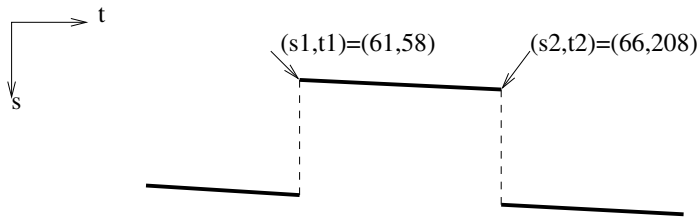
En avståndskamera baserad på “sheet-of-light” och triangulering har en kalibreringsmatris  $\mathbf{C}$  som beskriver relationen mellan sensor-koordinater  $(s, t)$ , mätta i pixlar, och verkliga koordinater  $(r, y)$ , mätta i mm, enligt

$$k \cdot (s, t, 1)^T = \mathbf{C}(r, y, 1)^T.$$

Genom en kalibreringsprocedur har  $\mathbf{C}$  bestämts till

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} 1.500 & -0.355 & 25 \\ 0.355 & -1.000 & 85 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

En box mäts med avståndskamera och ger nedanstående laser-profil på sensorn. Bestäm avståndet (in mm) mellan punkterna på boxen som representeras av  $(s_1, t_1)$  och  $(s_2, t_2)$  i bilden.



---

## DEL III: ICKE-STANDARD KAMEROR

---

### Uppgift 17 (A, 1p) Avståndskameror

En typ av avståndskamera är baserad på laser "sheet-of-light" triangulering. Antag att lasern är röd. Vilka objekt kan ge problem, svarta, gula, vita, blå eller röda objekt? Motivera ditt svar!

---

### Uppgift 18 (A, 1p) Avståndskameror

En plan yta har ett tryckt mönster, bokstaven M med en svart ram, som visas nedan. Den skannas med en avståndskamera baserad på "sheet-of-light" och triangulering. Även om ytan är plan innehåller den resulterande "range"-bilden mindre avvikelser från en plan yta. Förklara varför och beskriv var i mönstret som avvikelserna förekommer.



---

### Uppgift 19 (A, 1p) Avståndskameror

Utsignalen från en avståndskamera är 3D punktmoln (point sets). Registrering av sådana är av intresse. En algoritm för detta visas nedan, men där finns en felaktighet.

- 1) Gissa korrespondenser utgående från den hittills bästa gissningen för registrering.
- 2) Uppskatta *rotationen* från lösningen på "Orthogonal Procrustes Problem" (OPP).
- 3) Beräkna medelvärden för de två punktmolnen,  $\mathbf{X}_\mu$  and  $\mathbf{Y}_\mu$ .  
Differensen ger den uppskattade *translationen*.
- 4) Uppdatera korrespondenser baserat på de uppskattade värdena på *rotation* och *translation* och gå till 2)

Förklara varför algoritmen ovan inte fungerar och visa hur den ska ändras så att den fungerar.

---

### Uppgift 20 (A, 1p) 3D visualisering

Följande ekvation används för 3D-visualisering,

$$\mathbf{I}_{Phong} = I_{ambient} + k_d \mathbf{I} \cos \phi + k_s \mathbf{I} \cos^n \rho.$$

Betrakta parametern  $n$  och materialen: krom, plast och gummi. Ordna materialen med ökande  $n$ . Motivera ditt svar.

---

### Uppgift 21 (A, 1p) Speciella kameror

Jämför standard-kamera och event-kamera avseende på hur bra de är på att undvika rörelseartefakter. Förklara noga varför den ena är bättre!

---

### Uppgift 22 (A, 1p) Speciella kameror

Beskriv hur en HDR-bild (HDR="high dynamic range") kan erhållas med hjälp av dubbla dioder.

---

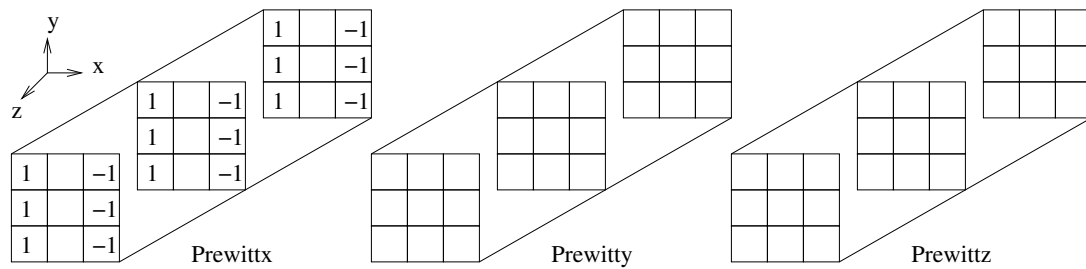


---

**Uppgift 23 (B, 2p) 3D visualisering**

Ytskuggning ("surface shading") används ofta för 3D-visualisering av 3D-volymer. Ytnormalerna måste då beräknas.

3D-prewitt filter kan användas för att beräkna 3D-derivator i en volym,  $\frac{\partial f(x,y,z)}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial f(x,y,z)}{\partial y}$ ,  $\frac{\partial f(x,y,z)}{\partial z}$ . Prewittx visas nedan. Ge Prewitty och Prewitz! Ge också ekvationer för hur man beräknar enhetsnormalen  $\bar{n}(x,y,z)$  i en voxel med hjälp av 3D-prewitt filter.



---

**Uppgift 24 (B, 2p) Avståndskameror**

I kursen har vi talat om olika principer för avståndskameror:

- I) Time-of-flight
    - A) Light pulse and time measurement
    - B) Amplitude modulated light and phase shift measurement
  - II) Active light and triangulation
    - A) Single spot with triangulation
    - B) Sheet-of-light with triangulation
    - C) Structured light with triangulation
    - D) Gray-coded patterns with triangulation
- a) Vilken princip gäller för LIDAR?
- b) Förklara hur LIDAR och RADAR är relaterade.
- c) Velodyne sensorn visas nedan. Den kan monteras på ett biltak. Beskriv geometrin på det avståndsdata som erhålls.

