



Klausur: Bildverarbeitung und Computergrafik

Prof. Dr. Uwe Hahne

Termin: 13. Juli 2022
Uhrzeit: 11:30 Uhr
Dauer: 90 Minuten
Prüfungsraum: I 1.21

Bitte ausfüllen:

Name	Vorname	Studiengang	Matrikelnummer

Bewertung: (nicht ausfüllen)

Frage:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Summe
Punkte	8	11	13	8	13	12	11	8	6	90
Bewertung:										

Note:

Modalitäten

Zugelassene Hilfsmittel:

- Als Hilfsmittel ist eine einseitig beschriebene A4-Seite erlaubt. Sie darf nur eigenhändig handgeschriebene Notizen enthalten.
- Als weitere Hilfsmittel sind ein Geodreieck sowie ein Textmarker empfohlen.
- Es sind keinerlei elektronische Hilfsmittel oder mechanische Rechenhilfen zugelassen. Dieser Ausschluss erstreckt sich insbesondere auf Mobiltelefone, Taschenrechner, Computer, Tablets und Smart Devices jeglicher Art, er ist mit dieser Aufzählung jedoch nicht notwendigerweise erschöpfend beschrieben.

Weitere Hinweise:

- Alle Studierenden haben ihre Studiausweise dem Aufsichtspersonal unaufgefordert vorzuzeigen bzw. solange an ihrem Arbeitsplatz auszulegen, bis das Aufsichtspersonal diese gesichtet hat.
- Studierende, die die Prüfung trotz Krankheit antreten, haben bei Nichtbestehen der Prüfung nicht das Recht auf nachträglichen Rücktritt von der Prüfung.
- Während der Prüfung darf zu jedem Zeitpunkt höchstens eine Person den Raum verlassen, um die Toilette aufzusuchen. Der Abwesenheitszeitraum wird jeweils protokolliert.
- Das endgültige Verlassen des Prüfungsraums ist frühestens nach Ablauf der ersten Stunde der Prüfungszeit gestattet. In den letzten 15 Minuten des Prüfungszeitraums müssen alle Klausurteilnehmerinnen und -teilnehmer an ihren Plätzen bleiben und nach dem Prüfungsende solange warten, bis alle Klausurbögen eingesammelt worden sind.
- Die Lösungen sind auf den bereitgestellten Klausurbögen anzufertigen. Es ist nicht gestattet, auf selbst mitgebrachtes Papier zu schreiben. Am Ende des Klausurhefts steht eine Zusatzseite zur Verfügung. Diese und die Leerseiten nach den einzelnen Aufgaben können als Konzeptpapier oder aber als zusätzliche Reinschriftseiten verwendet werden. Während der Prüfung wird daher kein zusätzliches Papier ausgehändigt.
- Bitte tragen Sie Ihre Ergebnisse in die jeweiligen Antwortkästen oder Zeilen ein. Für Nebenrechnungen können Sie die jeweiligen (leeren) Folgeseiten (oder auch die Zusatzseite am Ende des Klausurheftes) verwenden.
- Bei den Multiple Choice Fragen kann es keine, eine oder mehrere richtige Antworten geben. Man kann von der Punkteverteilung nicht auf die Anzahl der richtigen Antworten schließen. Wenn es nur eine richtige Antwort gibt, ist dies angegeben. Falsche Antworten führen zu Punktabzug, es ist daher nicht empfohlen zu raten. Die minimale Punktzahl pro Aufgabe ist null. Wenn gar keine Antwort ausgewählt ist, wird die Aufgabe mit null Punkten bewertet.
- Bei Multiple Choice Fragen müssen die Kästchen möglichst exakt mit einem Kreuz (X) markiert sein. Zu schwach oder außerhalb markierte Kästchen werden nicht als markiert erkannt.
Korrektur eines angekreuzten Kästchens: Ganz ausgefaltete Kästchen werden nicht als angekreuzt erkannt. Eine nochmalige Korrektur ist nicht möglich!
- Wenn nichts anders vermerkt ist, sind Koordinatenangaben stets bezüglich eines kartesischen Koordinatensystems zu verstehen.
- Teilen Sie sich die zu Verfügung stehende Zeit gut ein. Es kann zu Ihrem Vorteil sein, wenn Sie ggf. nicht zu lange bei einer Aufgabe verharren, die Ihnen (zunächst) Schwierigkeiten bereitet.

Bildentstehung

1. (a) (4 Punkte) Welche der folgenden Aussagen sind richtig (R), welche falsch (F)? Kreuzen Sie entsprechend an. Sie können die Antwort um eine Erklärung ergänzen, falls Ihnen die Aussage nicht eindeutig erscheint.

R F Die perspektivische Projektion von 3D auf 2D lässt sich mit einer 4x3 Projektionsmatrix beschreiben.

.....

R F Eine Kugel wird umso kleiner abgebildet, je weiter sie sich vom Projektionszentrum entfernt befindet.

.....

R F Eine Skalierung der Projektionsmatrix führt zu einer Vergrößerung der Abbildungen.

.....

R F Parallele Geraden bleiben nach der perspektivischen Projektion parallel.

.....

- (b) (4 Punkte) Welche der folgenden Aussagen sind richtig (R), welche falsch (F)? Kreuzen Sie entsprechend an. Sie können die Antwort um eine Erklärung ergänzen, falls Ihnen die Aussage nicht eindeutig erscheint.

R F Um Punkte aus dem Weltkoordinatensystem in das Kamerakoordinatensystem zu transformieren, benötigt man die Brennweite der Kamera.

.....

R F Die extrinsischen Kameraparameter beschreiben nur die Position und Orientierung der Kamera.

.....

R F Wenn man die intrinsischen Kameraparameter einer Bildaufnahme kennt, kann man anhand der Größe eines Objekts in Pixeln ausrechnen, wie groß das Objekt in Metern ist.

.....

R F Eine intrinsische Kameramatrix lässt sich auf diese Weise $\begin{pmatrix} f & 0 & c_x \\ 0 & f & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ darstellen, wenn die Pixel auf dem Sensor quadratisch sind.

.....

Projektive Geometrie

2. (a) (4 Punkte) Welche dieser Aussagen zur Punkt-Linien-Dualität im projektiven Raum sind richtig (R), welche falsch (F)? Kreuzen Sie entsprechend an. Sie können die Antwort um eine Erklärung ergänzen, falls Ihnen die Aussage nicht eindeutig erscheint.

R F Der homogene Vektor $\begin{pmatrix} a \\ b \\ 1 \end{pmatrix}$ beschreibt sowohl eine Gerade als auch einen Punkt im projektiven Raum.

.....

R F Für alle Punkte \mathbf{p} auf einer Geraden \mathbf{l} gilt $\mathbf{l} \cdot \mathbf{p} = 0$.

.....

R F Der Schnittpunkt \mathbf{p} zweier Geraden \mathbf{l}_1 und \mathbf{l}_2 lässt sich mit dem Kreuzprodukt, also $\mathbf{p} = \mathbf{l}_1 \times \mathbf{l}_2$ berechnen.

.....

R F Die Gerade \mathbf{l} , die durch die Punkte \mathbf{p}_1 und \mathbf{p}_2 geht, lässt sich mit dem Kreuzprodukt, also $\mathbf{l} = \mathbf{p}_1 \times \mathbf{p}_2$ berechnen.

.....

- (b) (3 Punkte) Welche dieser Aussagen zu Fluchtpunkten und -linien sind richtig (R), welche falsch (F)? Kreuzen Sie entsprechend an. Sie können die Antwort um eine Erklärung ergänzen, falls Ihnen die Aussage nicht eindeutig erscheint.

R F Zu jeder Ebene im Raum gibt es genau einen Fluchtpunkt in der Bildebene. Dieser kann, muss aber nicht im Bildbereich sein.

.....

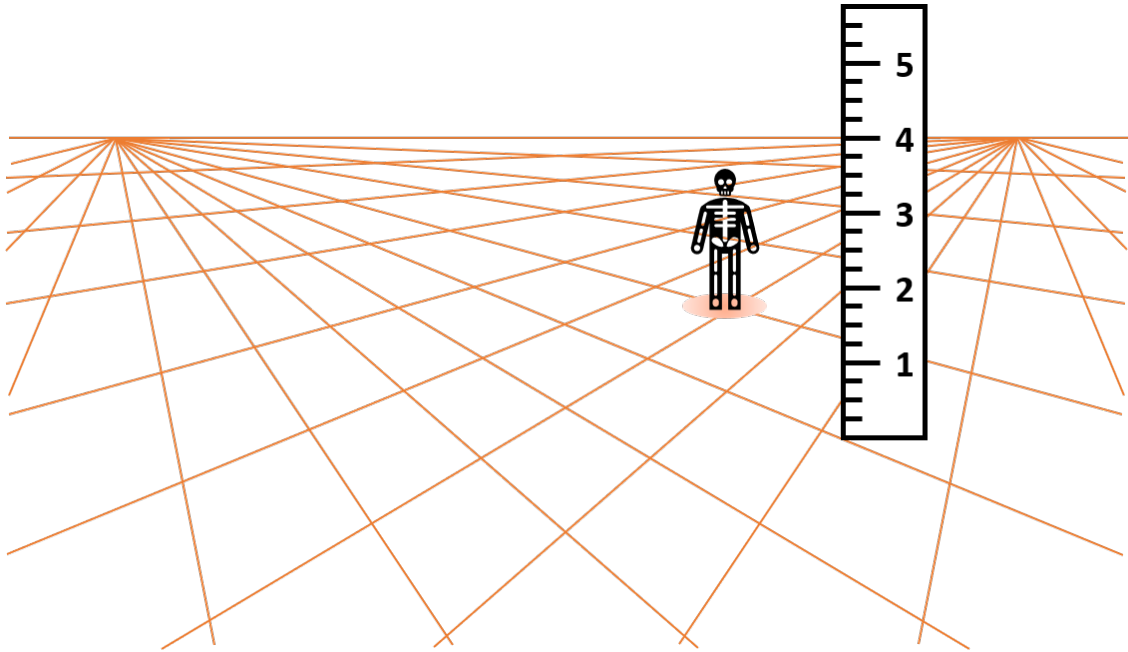
R F Zwei parallele Geraden im Raum haben einen gemeinsamen Fluchtpunkt auf der Bildebene, wenn sie nicht parallel zur Bildebene sind.

.....

R F Eine Fluchtlinie ergibt sich aus den zwei Fluchtpunkten, die sich aus mindestens zwei jeweils parallelen Geraden auf der selben Ebene ergeben.

.....

(c) Gegeben sei die folgende Abbildung. Beantworten Sie die folgenden Fragen.



i. (3 Punkte) Welche Höhe hat das Skelett? Lösen Sie dies zeichnerisch in der Abbildung.

.....

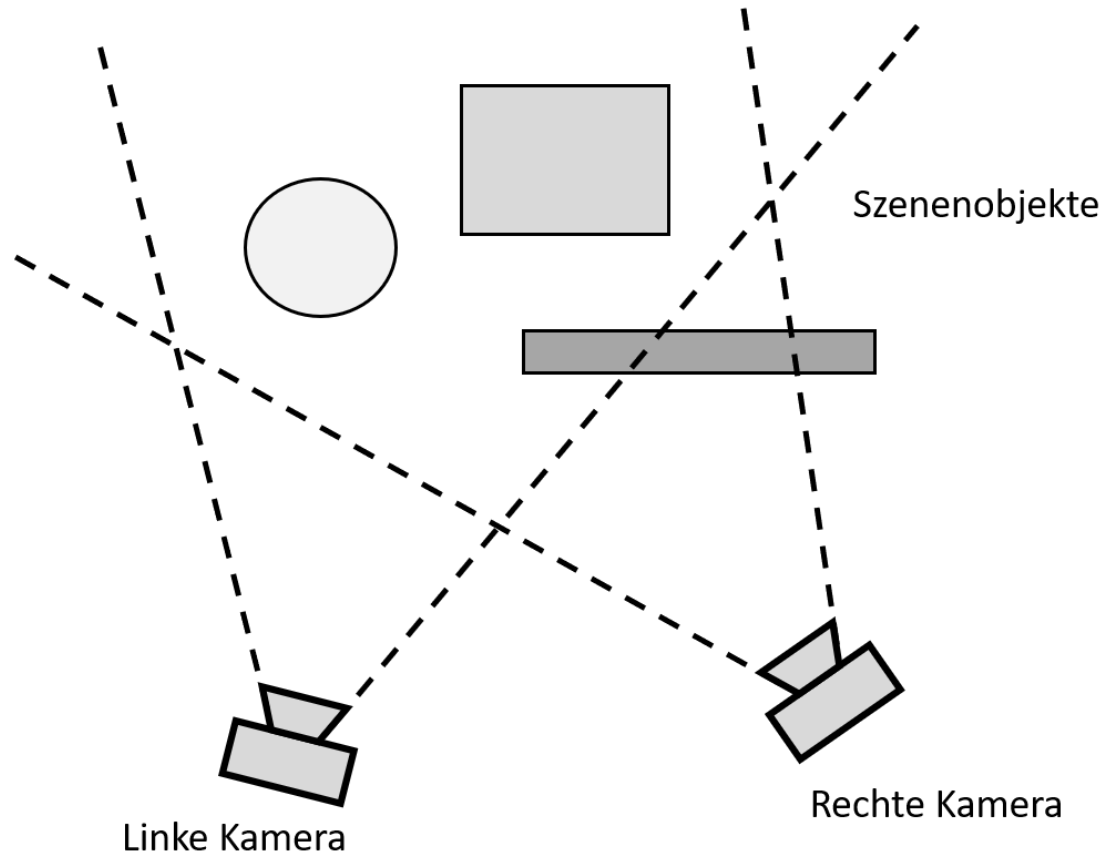
ii. (1 Punkt) Auf welcher Höhe ist die Kamera, die diese Abbildung erzeugt hat?

.....

Stereo

3. (a) (3 Punkte) Die folgende Abbildung zeigt eine Szene mit einem Stereokameraaufbau von oben. Sowohl die beiden Kameras, als auch alle Szenenobjekte liegen auf der selben Höhe und sind undurchsichtig. Es ist eine Ebene dargestellt, die jeweils einer Zeile im Bild der beiden Kameras entspricht. Die gestrichelten Linien stellen den Sichtbereich der Kameras dar.

Markieren Sie in dem unten stehenden Bild genau die Bereiche (in der Szene), für die einem Pixel im linken Bild ein Disparitätswert zu einem passenden Pixel im rechten Bild zugeordnet werden kann.



.....

.....

.....

.....

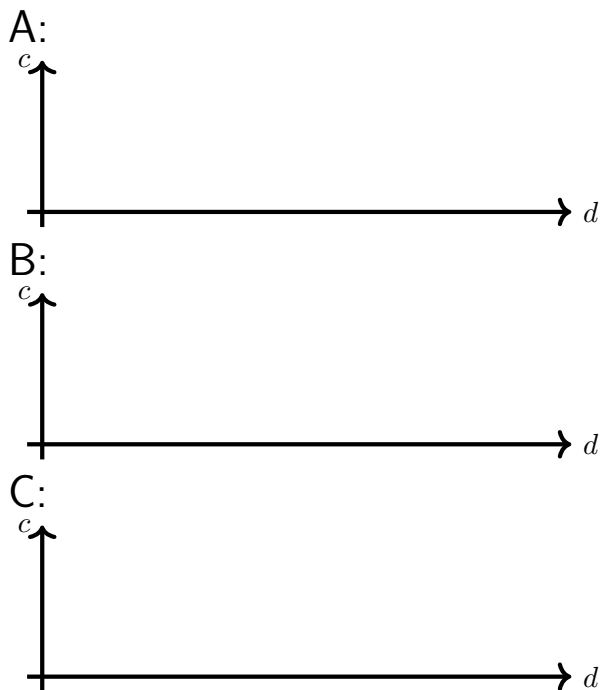
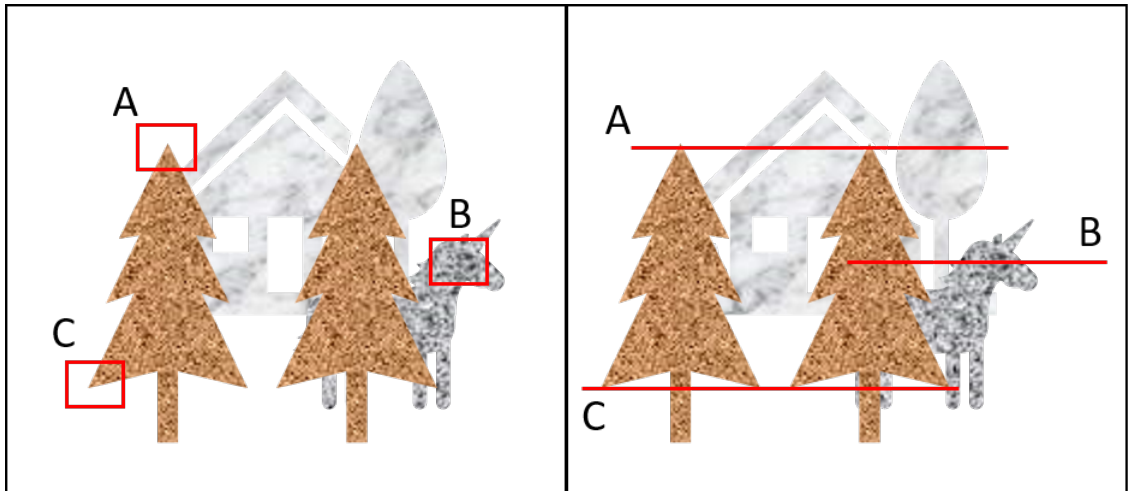
.....

.....

.....

.....

(b) (6 Punkte) Gegeben sei das folgende Stereobildpaar und eine Kostenfunktion $c(d)$, die sich als Summe der quadrierten Differenzen zwischen den Pixeln in einem Fenster errechnet. Dabei wird das Fenster im rechten Bild jeweils um d Pixel verschoben. Zeichnen Sie je eine mögliche Funktionskurve für die jeweiligen Kosten (c) pro Disparität (d) entlang der horizontalen Strecken im rechten Bild. Entscheidend ist die Anzahl und der Ort der Extremstellen der Kurven.



.....

.....

.....

.....

.....

(c) (4 Punkte) Welche der folgenden Aussagen sind in Bezug auf Stereobildpaare richtig (R), welche falsch (F)? Kreuzen Sie entsprechend an. Sie können die Antwort um eine Erklärung ergänzen, falls Ihnen die Aussage nicht eindeutig erscheint.

R F Wenn ein rektifiziertes Stereobildpaar vorliegt, müssen lokale Stereoalgorithmen nur in der gleichen Bildzeile nach einem passenden Bildpunkt (*matching*) suchen.

.....

R F Globale Stereoalgorithmen führen im Allgemeinen zu Tiefenkarten mit weniger fehlerhaften Pixelwerten bzw. erreichen Ergebnisse die näher an der *ground truth* liegen. Sie benötigen jedoch mehr Rechenoperationen und damit längere Rechenzeiten um auf diese Ergebnisse zu kommen.

.....

R F Je kleiner die Basislänge (baseline), desto größer ist der mögliche Tiefenfehler für ein gefundenes Matching.

.....

R F Je kleiner die Basislänge (baseline), desto größer ist der zu durchsuchende Bildbereich (disparity range) um ein passendes Matching zu finden.

.....

Epipolargeometrie

4. (a) \mathbf{F} sei die Fundamentalmatrix eines Stereosystems. Die Bildpunkte \mathbf{p} (im ersten Bild) und \mathbf{q} (im zweiten Bild) seien die Projektionen eines Szenenpunktes \mathbf{P} auf die beiden Bildebenen der zwei Kameras. $\mathbf{F}\mathbf{p}$ ist die zum Punkt \mathbf{p} gehörende Epipolarlinie.

i. (4 Punkte) Welche der folgenden Aussagen zu \mathbf{F} sind richtig (R), welche falsch (F)? Kreuzen Sie entsprechend an. Sie können die Antwort um eine Erklärung ergänzen, falls Ihnen die Aussage nicht eindeutig erscheint.

R F \mathbf{F} ist eine 3×3 Matrix.

.....

R F $\mathbf{F}\mathbf{q}$ ist die zum Punkt \mathbf{q} gehörende Epipolarlinie.

.....

R F $\mathbf{F}\mathbf{p}$ ergibt sich aus dem Schnitt der zweiten Bildebene mit der Ebene, die aus den beiden Kamerazentren und dem Punkt \mathbf{p} aufgespannt wird.

.....

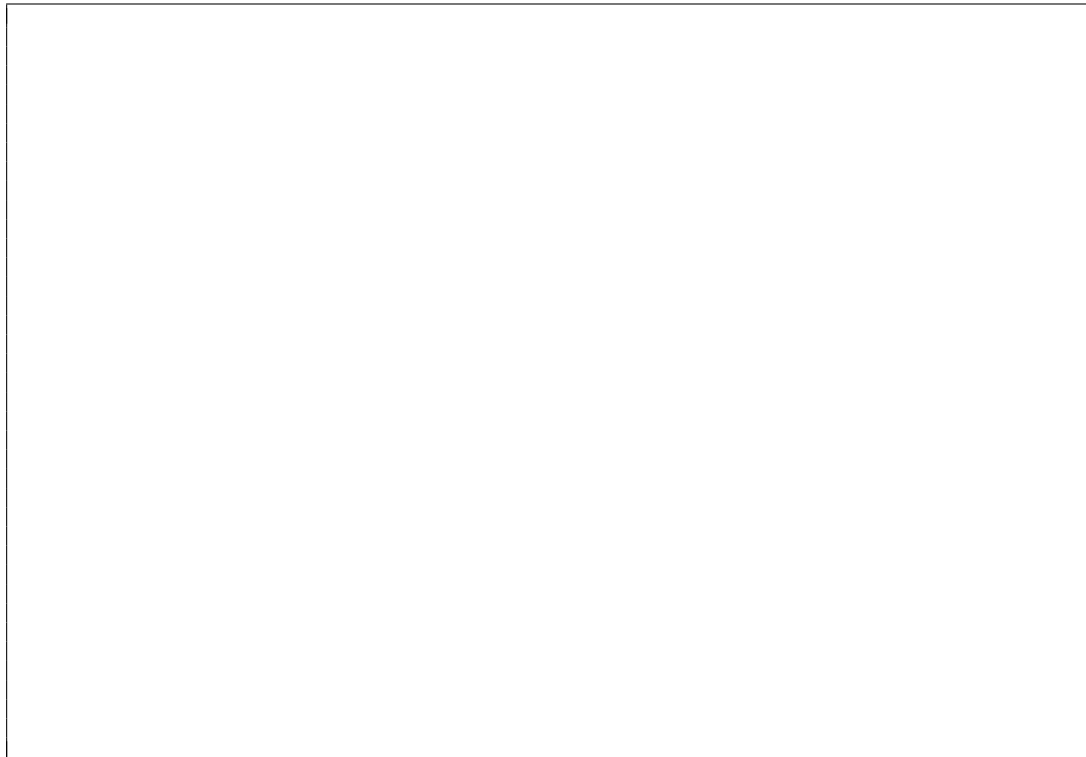
R F Wenn die Epipolarbedingung für zwei andere Bildpunkte \mathbf{p}' (im ersten Bild) und \mathbf{q}' (im zweiten Bild) erfüllt ist, also $\mathbf{q}'^T \mathbf{F} \mathbf{p}' = 0$, dann sind diese beiden Punkte \mathbf{p}' und \mathbf{q}' korrespondierende Punkte im Stereosystem.

.....

ii. (4 Punkte) Welche dieser Punkte liegen in jedem Fall auf der Epipolarebene die durch die Kamerazentren und einen Objektpunkt \mathbf{P} aufgespannt wird? Kreuzen Sie entsprechend an. Sie können die Antworten um eine Skizze ergänzen.

- Der Epipol e_1 , welcher zur linken Kamera gehört.
- Der Epipol e_2 , welcher zur rechten Kamera gehört.
- Die Projektion eines Punktes \mathbf{Q}_1 auf die Bildebene der rechten Kamera, wobei \mathbf{Q}_1 die gleiche Distanz zum linken Kamerazentrum hat wie \mathbf{P} .
- Die Projektion eines Punktes \mathbf{Q}_2 auf die Bildebene der rechten Kamera, wobei \mathbf{Q}_2 die gleiche Distanz zum rechten Kamerazentrum hat wie \mathbf{P} .
- Die Projektion des Punktes \mathbf{P} auf die Bildebene der linken Kamera.
- Die Projektion des Punktes \mathbf{P} auf die Bildebene der rechten Kamera.
- Projektion des Kamerazentrums der linken Kamera auf die Bildebene der rechten Kamera.
- Projektion des Kamerazentrums der rechten Kamera auf die Bildebene der linken Kamera.

Nutzen Sie diesen Bereich für eine Skizze (optional):



Feature Matching

5. (a) (3 Punkte) Füllen Sie die Lücken mit den richtigen Begriffen (jeweils ein Wort, deutsch oder englisch ist erlaubt):

Feature _____: Bestimme die korrespondierenden Deskriptoren aus zwei Bildern.

Feature _____: Identifiziere die Bildpunkte, die als Merkmal in Frage kommen (interest points).

Feature _____: Bilde einen Vektor aus den Daten rund um den Merkmalspunkt herum (feature vector).

.....

- (b) (4 Punkte) Welche der folgenden Aussagen zum Thema Merkmale sind richtig (R), welche falsch (F)? Kreuzen Sie entsprechend an. Sie können die Antwort um eine Erklärung ergänzen, falls Ihnen die Aussage nicht eindeutig erscheint.

R F Durch die Verwendung von Differenzen in Merkmalsdeskriptoren, versucht man eine Invarianz gegenüber Intensitätsveränderungen zu erreichen.

.....

R F Der Deskriptor eines Bildmerkmals sollte sich möglichst wenig ändern, wenn das Bild geometrisch transformiert wird.

.....

R F Wenn die Orientierung eines Merkmalsdeskriptors normalisiert ist, ist dieser rotationsinvariant.

.....

R F Der Abstand zwischen zwei Merkmalen kann im hochdimensionalen Merkmalsraum mit der selben Formel (L_2 -Abstands bzw. sum of squared differences, SSD) berechnet werden wie der Abstand zwischen zwei Punkten im dreidimensionalen Raum.

.....

(b) (8 Punkte) Die folgenden Aussagen zu Structure From Motion sind fehlerhaft oder unpräzise. Erklären Sie welcher Aspekt der Aussage jeweils falsch ist und korrigieren Sie die Aussage.

- Der *Centering Trick* funktioniert nur dann, wenn der geometrische Schwerpunkt (centroid) einer Punktemenge in 3D auch dem geometrischen Schwerpunkt der orthographischen Projektion dieser Menge auf eine 2D Bildebene entspricht.

.....
.....
.....

- Aus den korrespondierenden Punkten zweier Ansichten lässt sich eine Beobachtungsmatrix (*observation matrix*) aufstellen, die dem Produkt zweier Matrizen entspricht: zum Einen eine Matrix aus den Kamerapositionen und zum Anderen eine Matrix aus den 3D Objektpunkten der Szene.

.....
.....
.....

- Aus den korrespondierenden Punkten zweier Ansichten lässt sich eine Beobachtungsmatrix (*observation matrix*) aufstellen, die dem Produkt zweier Matrizen entspricht: da diese beiden Matrizen nur drei Spalten bzw. Zeilen haben, muss die Beobachtungsmatrix den Rang 3 haben.

.....
.....
.....

- Structure From Motion ist für symmetrische Objekte auch dann lösbar, wenn aus zwei verschiedenen Kamerapositionen genau das gleiche Abbild des Objekte entsteht.

.....
.....
.....

Volumen und Datenstrukturen

7. (a) (4 Punkte) Welche der folgenden Aussagen zum Thema Punktwolken sind richtig (R), welche falsch (F)? Kreuzen Sie entsprechend an. Sie können die Antwort um eine Erklärung ergänzen, falls Ihnen die Aussage nicht eindeutig erscheint.

R F Um aus einer Tiefenkarte eine Punktwolke zu berechnen, benötigt man nur die intrinsischen Kameraparameter.

.....

R F Der ICP Algorithmus erhält als Eingabe zwei Punktwolken. Er findet die Euklidische Transformation (*rigid transformation*, die nach Anwendung der Transformation auf die zweite Punktwolke, die Summe der Abstände aller Punkte der beiden Punktwolken minimiert.

.....

R F Der ICP Algorithmus erhält als Eingabe zwei Punktwolken. Der ICP Algorithmus unterliegt der Annahme, dass die zwei Punkte (jeweils einer aus jeder Punktwolke), die am nächsten beieinander liegen, korrespondieren, also dem selben Objektpunkt entsprechen.

.....

R F Der ICP Algorithmus erhält als Eingabe zwei Punktwolken. Zusätzlich ist eine initiale Transformation als Eingabe notwendig, um die beiden Punktwolken grob auszurichten (*alignement*). Die finale und präzise Transformation wird dann iterativ ermittelt.

.....

(b) (7 Punkte) Gegeben sind die folgenden 3D Punkte mit den (x, y, z) -Koordinaten:

A: (3, 0, 2)

B: (2, 2, 4)

C: (4, 2, 3)

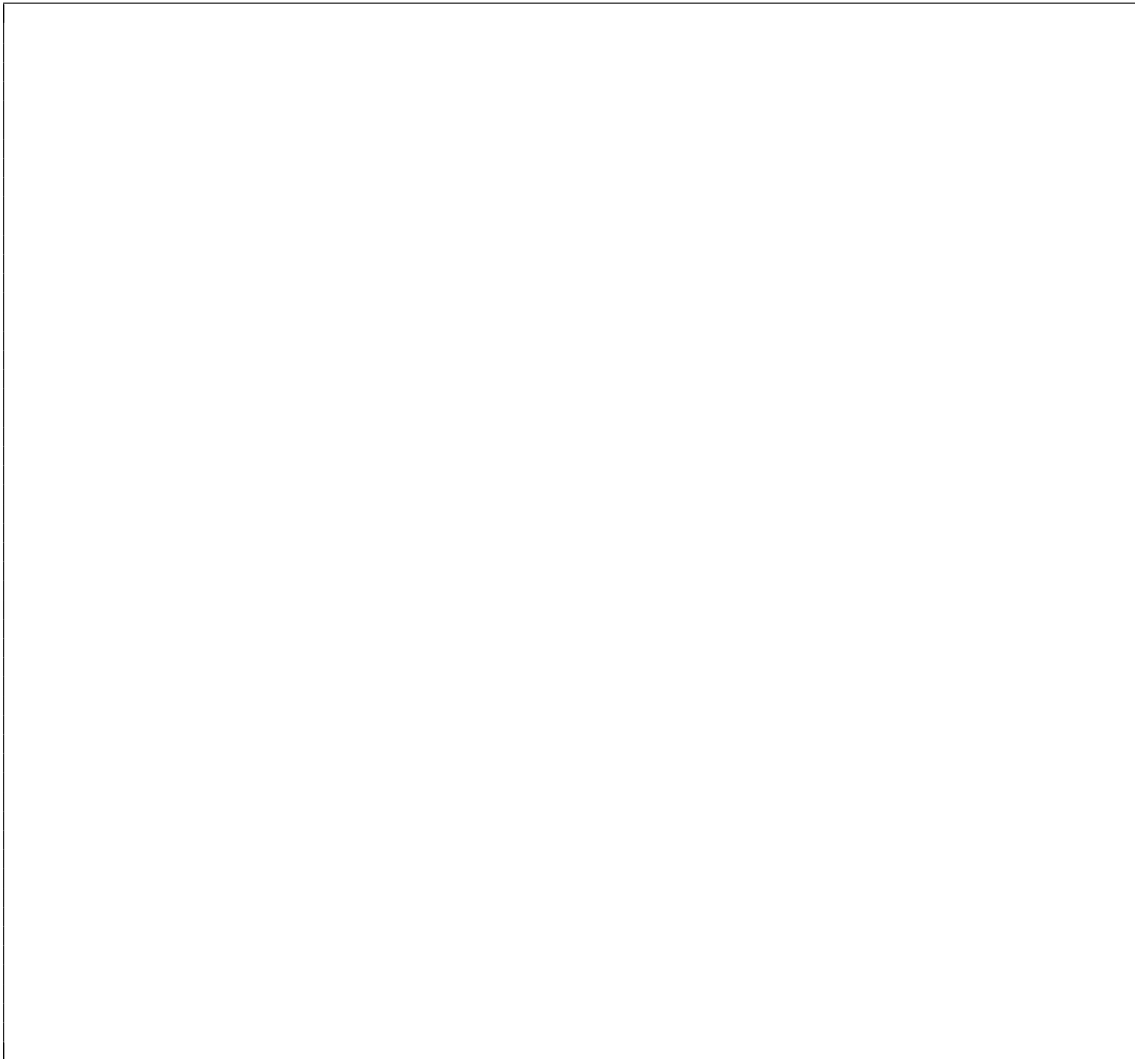
D: (2, 1, 1)

E: (2, 3, 3)

F: (4, 1, 3)

G: (4, 3, 5)

Erzeugen Sie aus diesen Punkten einen kD-Baum. Die Unterteilung soll in der Reihenfolge x, y, z, x, y, \dots erfolgen.



Notizen

Diese Zusatzseite kann für Notizen, Nebenrechnungen und Kommentare genutzt werden