

Objekterkennung mit SIFT-Merkmalen

Carsten Fries

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

06. Januar 2010

Gliederung

Problemstellung

SIFT-Verfahren

Detektion robuster SIFT-Merkmale

Merkmalsvergleich zur Identifikation von Gegenständen

Zusammenfassung und Ausblick

Problemstellung

SIFT-Verfahren

Detektion robuster SIFT-Merkmale

Merkmalsvergleich zur Identifikation von Gegenständen

Zusammenfassung und Ausblick

Katana-Greifarm

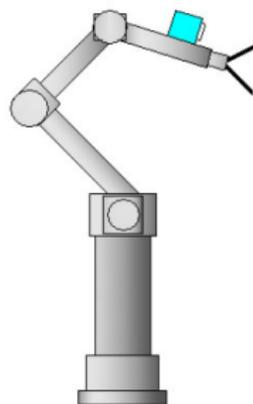
- ▶ 6 Freiheitsgrade
- ▶ Tätigkeitsradius beträgt 60cm
- ▶ Maximale Nutzlast von 500g
- ▶ Bewegungsgeschwindigkeit von $90^\circ/\text{s} = 1 \text{ m/s}$
- ▶ 4kg Basisgewicht
- ▶ Montierter Winkelgreifer:
 - ▶ Infrarotsensoren
 - ▶ Kraftsensoren
 - ▶ Leitfähigkeitssensoren
 - ▶ Encoder für die Greiferöffnung



Bildquelle: (Neuronic AG, 2009)

Ziel des Katana-Greifarmes

- ▶ Der Katana-Greifarm soll Gegenstände:
 - ▶ Identifizieren
 - ▶ Lokalisieren
 - ▶ Anfahren
 - ▶ Greifen
 - ▶ Manipulieren

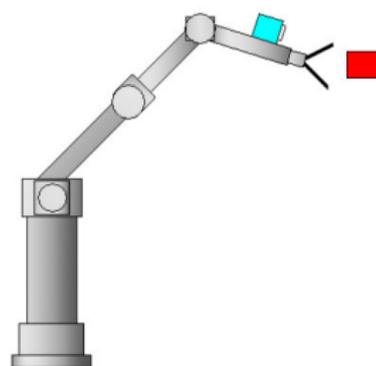


Objekt

Bildquelle: (Benjamin Wagner, 2009)

Ziel des Katana-Greifarmes

- ▶ Der Katana-Greifarm soll Gegenstände:
 - ▶ Identifizieren
 - ▶ Lokalisieren
 - ▶ Anfahren
 - ▶ Greifen
 - ▶ Manipulieren



Bildquelle: (Benjamin Wagner, 2009)

Ziel für AW1

- ▶ Identifikation eines Gegenstandes
 - ▶ Die Kameradaten werden einmal ausgewertet
 - ▶ Identifikation anhand eines Kamerabildes
 - ▶ Jedes Kamerabild enthält robuste Merkmale
 - ▶ Identifikation anhand robuster Merkmale

Ziel für AW1

- ▶ Identifikation eines Gegenstandes
 - ▶ Die Kameradaten werden einmal ausgewertet
 - ▶ Identifikation anhand eines Kamerabildes
 - ▶ Jedes Kamerabild enthält robuste Merkmale
 - ▶ Identifikation anhand robuster Merkmale



Problemstellung

SIFT-Verfahren

Detektion robuster SIFT-Merkmale

Merkmalsvergleich zur Identifikation von Gegenständen

Zusammenfassung und Ausblick

Scale-invariant feature transform (SIFT)

- ▶ Sucht robuste Merkmale mit Invarianz gegenüber:
 - ▶ Translation
 - ▶ Rotation
 - ▶ Skalierung
 - ▶ Änderung der Lichtverhältnisse
 - ▶ (Teilweise) Affiner Verzerrung



Scale-invariant feature transform (SIFT)

- ▶ Sucht robuste Merkmale mit Invarianz gegenüber:
 - ▶ Translation
 - ▶ Rotation
 - ▶ Skalierung
 - ▶ Änderung der Lichtverhältnisse
 - ▶ (Teilweise) Affiner Verzerrung



Scale-invariant feature transform (SIFT)

- ▶ Sucht robuste Merkmale mit Invarianz gegenüber:
 - ▶ Translation
 - ▶ Rotation
 - ▶ Skalierung
 - ▶ Änderung der Lichtverhältnisse
 - ▶ (Teilweise) Affiner Verzerrung



Scale-invariant feature transform (SIFT)

- ▶ Sucht robuste Merkmale mit Invarianz gegenüber:
 - ▶ Translation
 - ▶ Rotation
 - ▶ Skalierung
 - ▶ Änderung der Lichtverhältnisse
 - ▶ (Teilweise) Affiner Verzerrung



Scale-invariant feature transform (SIFT)

- ▶ Sucht robuste Merkmale mit Invarianz gegenüber:
 - ▶ Translation
 - ▶ Rotation
 - ▶ Skalierung
 - ▶ Änderung der Lichtverhältnisse
 - ▶ (Teilweise) Affiner Verzerrung



Scale-invariant feature transform (SIFT)

- ▶ Sucht robuste Merkmale mit Invarianz gegenüber:
 - ▶ Translation
 - ▶ Rotation
 - ▶ Skalierung
 - ▶ Änderung der Lichtverhältnisse
 - ▶ (Teilweise) Affiner Verzerrung



Problemstellung

SIFT-Verfahren

Detektion robuster SIFT-Merkmale

Merkmalsvergleich zur Identifikation von Gegenständen

Zusammenfassung und Ausblick

Schritt 1/4: Suche nach potentiellen robusten Merkmalen

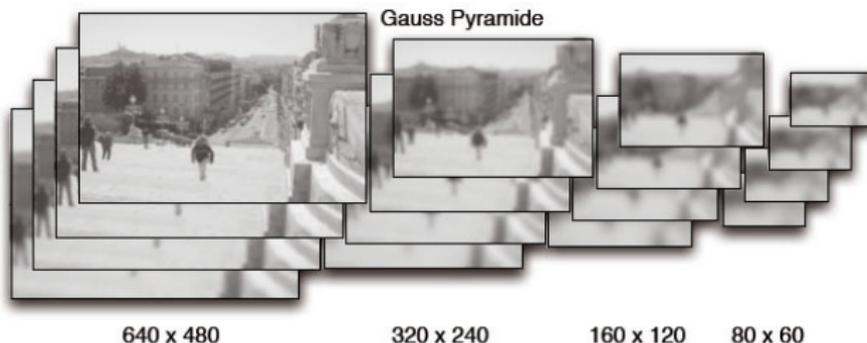
- ▶ Erzeuge Gauss-Pyramide aus fortlaufend stärker geglätteten Abbildungen
 - ▶ Invarianz gegenüber Skalierung



640 x 480

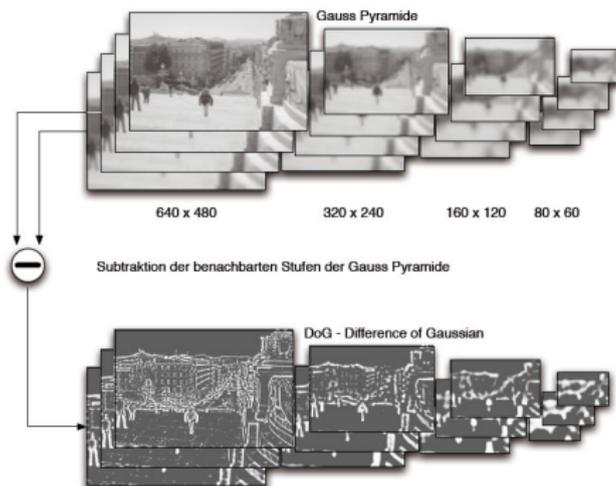
Schritt 1/4: Suche nach potentiellen robusten Merkmalen

- ▶ Vorgang n-mal mit jeweils um 50% verkleinerten Abbildungen durchführen
 - ▶ Ausgangsbild: Letzte Abbildung aus der vorherigen Pyramide
 - ▶ Bildverkleinerung: Jeder zweite Pixel in x- und y-Richtung
 - ▶ Keine Pixelinterpolation nötig



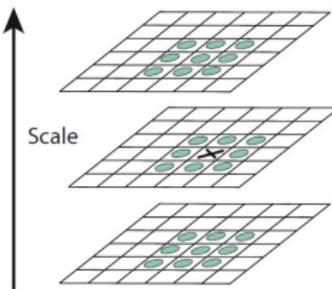
Schritt 1/4: Suche nach potentiellen robusten Merkmalen

- ▶ Erzeuge „Difference-of-Gaussian (DoG)“-Pyramiden
 - ▶ Subtraktion zweier benachbarter Abbildungen der Gauss-Pyramide



Schritt 1/4: Suche nach potentiellen robusten Merkmalen

- ▶ Finde minimale und maximale Pixelwerte
 - ▶ Maximum: Alle 26 benachbarten Pixel sind kleiner
 - ▶ Minimum: Umgekehrter Fall
 - ▶ Extremwert = Potentieller Merkmalspunkt



Bildquelle: (David G. Lowe, 2004)

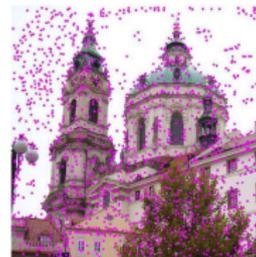
Schritt 2/4: Filterung und exakte Lokalisierung potentieller Merkmalspunkte

- ▶ Alle Extremwerte sind Merkmalskandidaten
- ▶ Stabilitätsanalyse
 - ▶ Kontrast (Rauschunterdrückung)
 - ▶ Klassifikation in Ecken
 - ▶ Homogenen Regionen
 - ▶ Kanten
- ▶ Stabilitätseigenschaften erfüllt
 - ▶ Bestimme exakte Position und Skalierung



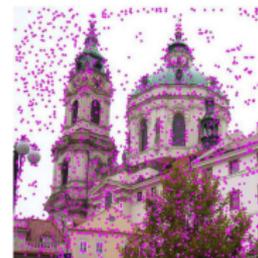
Schritt 2/4: Filterung und exakte Lokalisierung potentieller Merkmalspunkte

- ▶ Alle Extremwerte sind Merkmalskandidaten
- ▶ Stabilitätsanalyse
 - ▶ Kontrast (Rauschunterdrückung)
 - ▶ Klassifikation in Ecken
 - ▶ Homogenen Regionen
 - ▶ Kanten
- ▶ Stabilitätseigenschaften erfüllt
 - ▶ Bestimme exakte Position und Skalierung



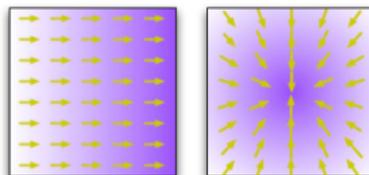
Schritt 2/4: Filterung und exakte Lokalisierung potentieller Merkmalspunkte

- ▶ Alle Extremwerte sind Merkmalskandidaten
- ▶ Stabilitätsanalyse
 - ▶ Kontrast (Rauschunterdrückung)
 - ▶ Klassifikation in Ecken
 - ▶ Homogenen Regionen
 - ▶ Kanten
- ▶ Stabilitätseigenschaften erfüllt
 - ▶ Bestimme exakte Position und Skalierung



Schritt 3/4: Bestimme Hauptorientierung zu jedem verbliebenden Merkmalspunkt

- ▶ Rotationsinvarianz
- ▶ Berechnet mit umliegenden Bildgradienten seines gaussgefiltertem Bildes
- ▶ Gradient kennzeichnet die Richtung des größten Helligkeitsanstiegs
 - ▶ Länge $m(x, y)$
 - ▶ Orientierung $\theta(x, y)$



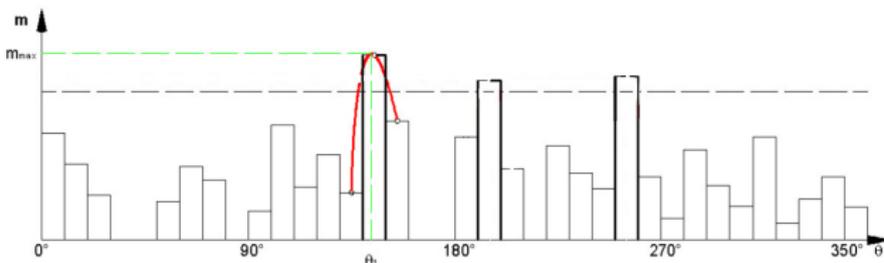
Bildquelle: (Sebastian Heymann, 2005)

Schritt 3/4: Bestimme Hauptorientierung zu jedem verbliebenden Merkmalspunkt

1. Umgebungsgradienten berechnen
2. Gradientenorientierungen θ_i gewichten
 - ▶ Jeweilige Gradientenlänge m_i
 - ▶ Größere Gradientenlängen stärker bewerten
 - ▶ Gewichtungsfaktor k
 - ▶ Äußere Bereiche der 360° -Umgebung gedämpft einbeziehen

Schritt 3/4: Bestimme Hauptorientierung zu jedem verbliebenden Merkmalspunkt

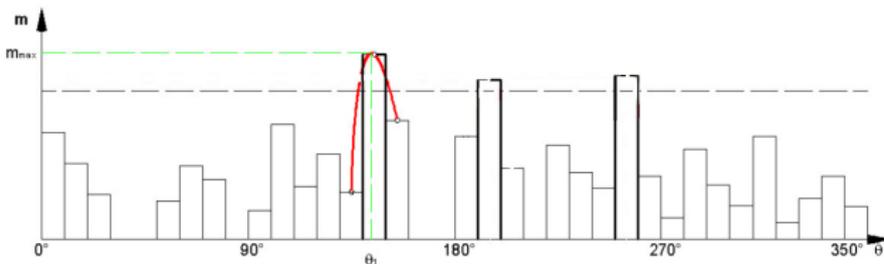
3. Histogramm anhand der gewichteten Orientierungen θ_{g_i} und den jeweiligen Gradientenlängen aufbauen
 - ▶ 36 Winkelbereiche (Klassenbreite beträgt 10°)
 - ▶ Gradientenlängen anhand ihrer gewichteten Orientierung aufaddieren



Bildquelle: (Andreas Roncat, 2005)

Schritt 3/4: Bestimme Hauptorientierung zu jedem verbliebenden Merkmalspunkt

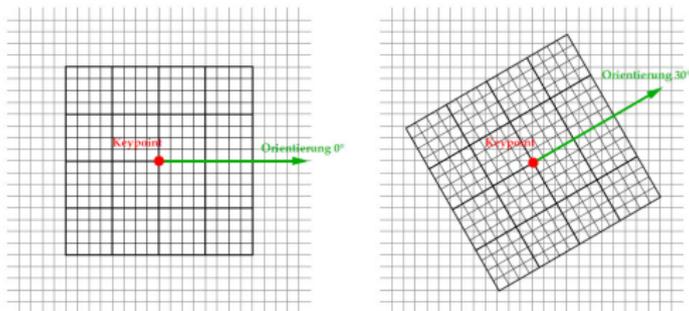
4. Merkmalsorientierung = Größte Gradientenlänge m_{max}



Bildquelle: (Andreas Roncat, 2005)

Schritt 4/4: Erzeugung der Merkmalsvektoren

- ▶ Merkmal wird beschrieben durch:
 - ▶ Bildposition (x, y)
 - ▶ Hauptorientierung (Definiert die Merkmalsregion)
 - ▶ Merkmalsvektor (Beschreibt die Merkmalsumgebung)
 - ▶ Relativ zur Hauptorientierung
 - ▶ Zweck: Merkmalsvergleich
 - ▶ Synonym: Deskriptor

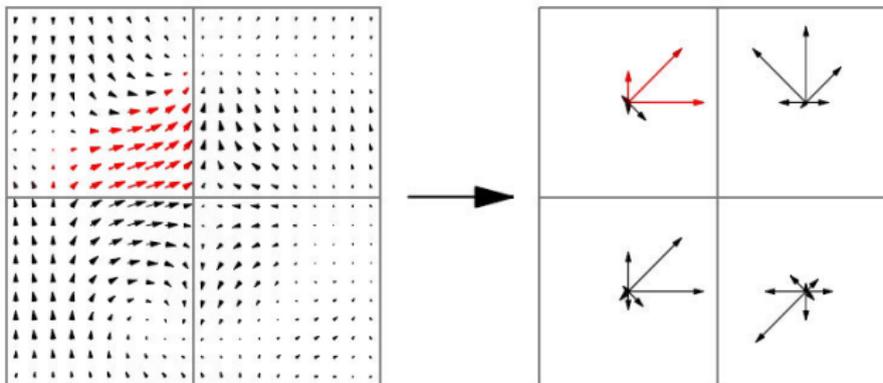


Schritt 4/4: Erzeugung der Merkmalsvektoren

- ▶ Berechnung eines $4 \times 4 \times 8 = 128$ -dimensionalen Deskriptors
 - ▶ Ähnlich der Hauptorientierungsberechnung
 - ▶ $4 \times 4 = 16$ Orientierungshistogramme
 - ▶ Decken jeweils eine gleich große Fläche ab
 - ▶ 8 Winkelbereiche (Klassenbreite beträgt 45°)

Schritt 4/4: Erzeugung der Merkmalsvektoren

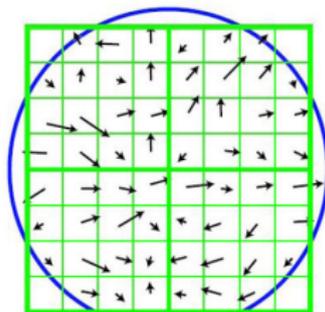
- ▶ Abstrakter 2x2x8-dimensionaler Deskriptor
 - ▶ 20x20 Pixelumgebung
 - ▶ Vier Subregionen mit jeweils 10x10 Pixeln



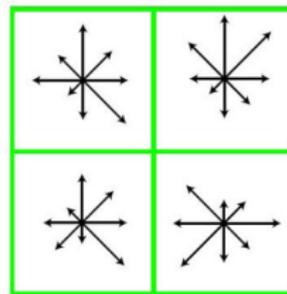
Bildquelle: (Alexej Schatz, 2006)

Schritt 4/4: Erzeugung der Merkmalsvektoren

- ▶ Realistischer 2x2x8-dimensionaler Deskriptor
 - ▶ 8x8 Pixelumgebung
 - ▶ Vier Subregionen mit jeweils 4x4 Pixeln
 - ▶ Beleuchtungsinvarianz
 - ▶ Gradientenbetrag des Deskriptors auf Einheitslänge normieren
 - ▶ Normierung: Division durch seine Länge
 - ▶ Kontrastveränderung bewirkt eine gleichmäßige Erhöhung aller Gradientenbeträge



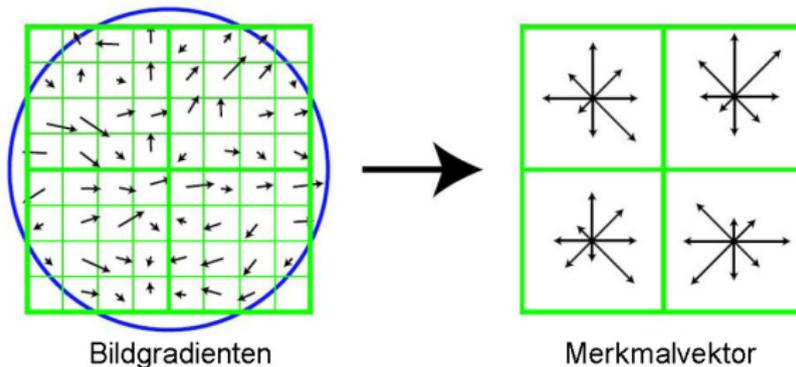
Bildgradienten



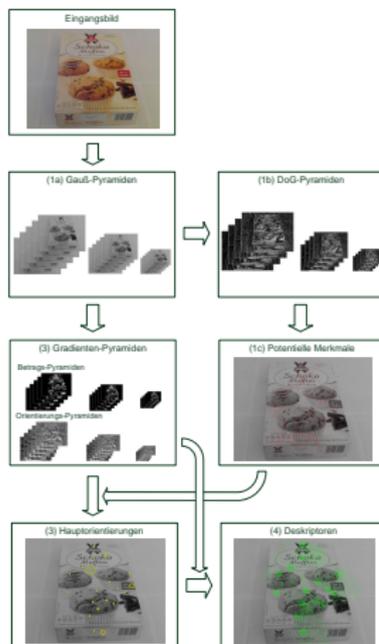
Merkmalsvektor

Schritt 4/4: Erzeugung der Merkmalsvektoren

- ▶ Realistischer 2x2x8-dimensionaler Deskriptor
 - ▶ 8x8 Pixelumgebung
 - ▶ Vier Subregionen mit jeweils 4x4 Pixeln
 - ▶ Beleuchtungsinvarianz
 - ▶ Gradientenbetrag des Deskriptors auf Einheitslänge normieren
 - ▶ Normierung: Division durch seine Länge
 - ▶ Kontrastveränderung bewirkt eine gleichmäßige Erhöhung aller Gradientenbeträge



Zusammenfassung: Ablauf einer Merkmalsextraktion





Problemstellung

SIFT-Verfahren

Detektion robuster SIFT-Merkmale

Merkmalsvergleich zur Identifikation von Gegenständen

Zusammenfassung und Ausblick



Merkmalsvergleich zur Identifikation von Gegenständen

- ▶ Voraussetzung: Merkmalsmenge der Gegenstände (Initial)
- ▶ Vergleich erfolgt anhand der Merkmalsvektoren (Deskriptoren)
- ▶ Zwei typische Verfahren
 - ▶ Euklidischer Abstand
 - ▶ Suchbaum



Merkmalsvergleich auf Basis des euklidischen Abstandes

- ▶ Nächster Nachbar = Kleinster euklidischer Abstand
- ▶ Euklidischer Abstand zwischen zwei Vektoren V_1 und V_2

- ▶
$$\sqrt{\sum_{i=1}^N (V_{1_i} - V_{2_i})^2}$$

- ▶ N = Länge der Vektoren

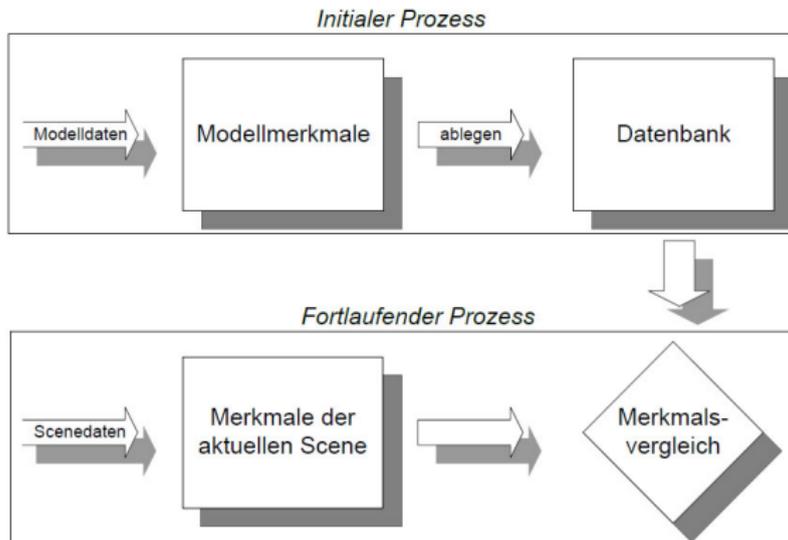
- ▶ „Brute Force“-Ansatz
- ▶ Nachteil: Aufgrund der hohen Vektordimension sehr zeitintensiv



Verbesserte Korrespondenzsuche mit einem Suchbaum

- ▶ Aufbau eines k-dimensionalen Baumes
 - ▶ Binärer Suchbaum der Tiefe t
 - ▶ Teilt den Raum in 2^t Unterräume
 - ▶ Knoten gliedert zwei Unterräume auf seine zwei Nachfolgerknoten auf
 - ▶ Blätter des Baumes = Deskriptoren
 - ▶ Maximaltiefe von $\log_2 n$ (n = Anzahl Merkmale)

Zusammenfassung: Ablauf einer Objektidentifikation





Merkmalsvergleich zur Identifikation von Gegenständen

Bsp.: Erfolgreiche Merkmalsübereinstimmung

- ▶ Dargestellt:
8 von 851 richtigen Merkmalsübereinstimmungen



Problemstellung

SIFT-Verfahren

Detektion robuster SIFT-Merkmale

Merkmalsvergleich zur Identifikation von Gegenständen

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung und Ausblick

▶ Erstes Semester

- ▶ Anwendungen 1: Identifikation mit SIFT

▶ Zweites Semester

- ▶ Projekt 1: Umsetzung + Evaluierung von AW1
- ▶ Anwendungen 2: Lokalisierung

▶ Drittes Semester

- ▶ Projekt 2: Umsetzung + Evaluierung von AW2
- ▶ Seminar: Kombiniertes Ansatz (Fries + Wagner)

▶ Viertes Semester

- ▶ Umsetzung + Evaluierung vom Seminar
- ▶ (Greifen + Verschieben von Gegenständen)



Zusammenfassung und Ausblick

▶ Erstes Semester

- ▶ Anwendungen 1: Identifikation mit SIFT

▶ Zweites Semester

- ▶ Projekt 1: Umsetzung + Evaluierung von AW1
- ▶ Anwendungen 2: Lokalisierung

▶ Drittes Semester

- ▶ Projekt 2: Umsetzung + Evaluierung von AW2
- ▶ Seminar: Kombiniertes Ansatz (Fries + Wagner)

▶ Viertes Semester

- ▶ Umsetzung + Evaluierung vom Seminar
- ▶ (Greifen + Verschieben von Gegenständen)



Zusammenfassung und Ausblick

▶ Erstes Semester

- ▶ Anwendungen 1: Identifikation mit SIFT

▶ Zweites Semester

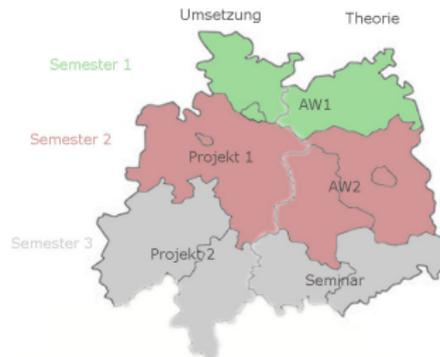
- ▶ Projekt 1: Umsetzung + Evaluierung von AW1
- ▶ Anwendungen 2: Lokalisierung

▶ Drittes Semester

- ▶ Projekt 2: Umsetzung + Evaluierung von AW2
- ▶ Seminar: Kombiniertes Ansatz (Fries + Wagner)

▶ Viertes Semester

- ▶ Umsetzung + Evaluierung vom Seminar
- ▶ (Grollen + Verschieben von Gegenständen)



Zusammenfassung und Ausblick

▶ Erstes Semester

- ▶ Anwendungen 1: Identifikation mit SIFT

▶ Zweites Semester

- ▶ Projekt 1: Umsetzung + Evaluierung von AW1
- ▶ Anwendungen 2: Lokalisierung

▶ Drittes Semester

- ▶ Projekt 2: Umsetzung + Evaluierung von AW2
- ▶ Seminar: Kombinerter Ansatz (Fries + Wagner)

▶ Viertes Semester

- ▶ Umsetzung + Evaluierung vom Seminar
- ▶ (Greifen + Verschieben von Gegenständen)



Vielen Dank Vielen Dank

für Ihre Aufmerksamkeit!