

Vergleich von Binary Feature Descriptors

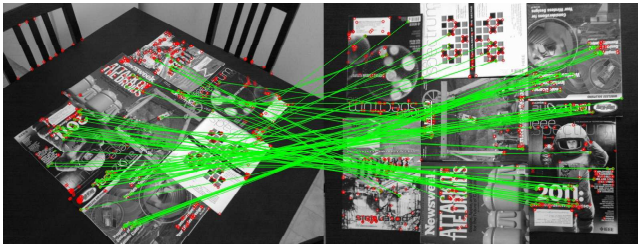
Nicolai Schaffroth

Lehrstuhl für Echtzeitsysteme und Robotik
Fakultät für Informatik
Technische Universität München
Email: schaffro@in.tum.de

19.6.2012

Feature Description

In der Computer Vision müssen häufig Bildinhalte wiedererkannt werden (Feature Matching).



Dafür ist eine passende Repräsentation von Bildelementen notwendig (Feature Description).

Einführung

BRIEF

ORB

BRISK

Vergleich und Zusammenfassung

Wichtige Eigenschaften von Feature Descriptors

Wichtige Eigenschaften von Feature Descriptors

- Aussagekräftige Beschreibung des Merkmals

Wichtige Eigenschaften von Feature Descriptors

- Aussagekräftige Beschreibung des Merkmals
- Invarianz gegenüber Transformationen

Wichtige Eigenschaften von Feature Descriptors

- Aussagekräftige Beschreibung des Merkmals
- Invarianz gegenüber Transformationen
- Hohe Geschwindigkeit
 - Aufbau des Deskriptors
 - Matching

Wichtige Eigenschaften von Feature Descriptors

- Aussagekräftige Beschreibung des Merkmals
- Invarianz gegenüber Transformationen
- Hohe Geschwindigkeit
 - Aufbau des Deskriptors
 - Matching
- Geringer Speicherbedarf

Binary Feature Descriptors

Viele bekannte Feature Descriptors (SIFT, SURF etc.) verwenden Vektoren von Fließkommazahlen für die Beschreibung der Bildmerkmale.

- Hoher Speicherbedarf (256 – 512 B pro Feature)
- Aufwendiges Matching (Euklidische Abstände)

Binary Feature Descriptors

Viele bekannte Feature Descriptors (SIFT, SURF etc.) verwenden Vektoren von Fließkommazahlen für die Beschreibung der Bildmerkmale.

- Hoher Speicherbedarf (256 – 512 B pro Feature)
- Aufwendiges Matching (Euklidische Abstände)

Binary Feature Descriptors verwenden Bitstrings für die Beschreibung der Bildmerkmale.

- Geringerer Speicherbedarf (32 – 64 B pro Feature)
- Schnelles Matching (Hamming-Abstand)

Binary Feature Descriptors

Grober Ablauf der Erzeugung eines Binary Feature Descriptors:

Binary Feature Descriptors

Grober Ablauf der Erzeugung eines Binary Feature Descriptors:

- Feature Detection

Binary Feature Descriptors

Grober Ablauf der Erzeugung eines Binary Feature Descriptors:

- Feature Detection
- Glättung

Binary Feature Descriptors

Grober Ablauf der Erzeugung eines Binary Feature Descriptors:

- Feature Detection
- Glättung
- Wahl von Punktepaaren

Binary Feature Descriptors

Grober Ablauf der Erzeugung eines Binary Feature Descriptors:

- Feature Detection
- Glättung
- Wahl von Punktepaaren
- Aufbau des Bitstrings durch Intensitätsvergleiche

Einführung

BRIEF

ORB

BRISK

Vergleich und Zusammenfassung

BRIEF

Binary Robust Independent Elementary Features

BRIEF

Binary Robust Independent Elementary Features

BRIEF verwendet keinen spezifischen Feature Detector. Es können daher beliebige, schnelle Detektoren (z.B. CenSurE) eingesetzt werden.

BRIEF

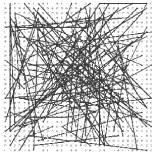
Binary Robust Independent Elementary Features

BRIEF verwendet keinen spezifischen Feature Detector. Es können daher beliebige, schnelle Detektoren (z.B. CenSurE) eingesetzt werden.

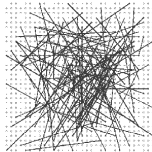
Es wird keine Skalen- oder Rotationskorrektur ausgeführt.

Wahl der Punktepaare für BRIEF

Ansätze für die Wahl der Punktepaare (X, Y) im $S \times S$ –
Bildausschnitt:



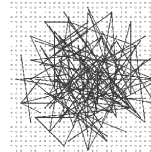
G I



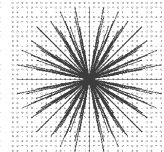
G II



G III



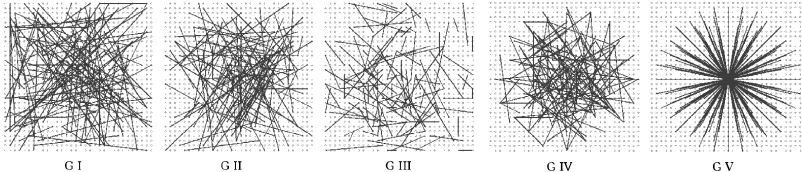
G IV



G V

Wahl der Punktepaare für BRIEF

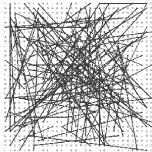
Ansätze für die Wahl der Punktepaare (X, Y) im $S \times S$ –
Bildausschnitt:



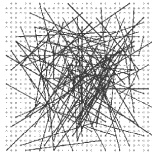
I $(X, Y) \sim (-\frac{S}{2}, \frac{S}{2})$ -gleichverteilt

Wahl der Punktepaare für BRIEF

Ansätze für die Wahl der Punktepaare (X, Y) im $S \times S$ –
Bildausschnitt:



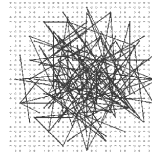
G I



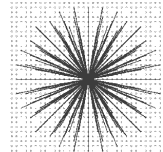
G II



G III



G IV

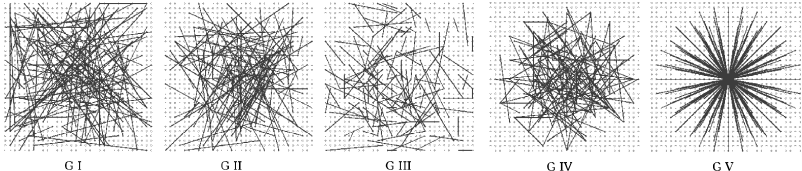


G V

- I $(X, Y) \sim (-\frac{S}{2}, \frac{S}{2})$ -gleichverteilt
- II $(X, Y) \sim (0, \frac{1}{25}S)$ -normalverteilt

Wahl der Punktepaare für BRIEF

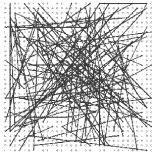
Ansätze für die Wahl der Punktepaare (X, Y) im $S \times S$ –
Bildausschnitt:



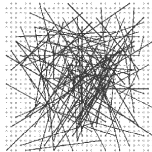
- I $(X, Y) \sim (-\frac{S}{2}, \frac{S}{2})$ -gleichverteilt
- II $(X, Y) \sim (0, \frac{1}{25}S)$ -normalverteilt
- III $X \sim (0, \frac{1}{25}S)$ -normalverteilt, $Y \sim (X, \frac{1}{100}S)$ -normalverteilt

Wahl der Punktepaare für BRIEF

Ansätze für die Wahl der Punktepaare (X, Y) im $S \times S$ –
Bildausschnitt:



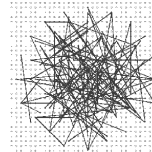
G I



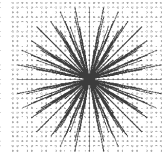
G II



G III



G IV

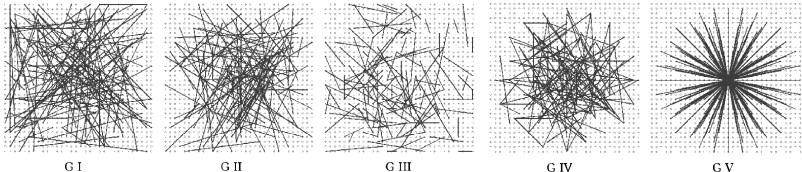


G V

- I $(X, Y) \sim (-\frac{S}{2}, \frac{S}{2})$ -gleichverteilt
- II $(X, Y) \sim (0, \frac{1}{25}S)$ -normalverteilt
- III $X \sim (0, \frac{1}{25}S)$ -normalverteilt, $Y \sim (X, \frac{1}{100}S)$ -normalverteilt
- IV Zufällige Punktepaare auf einem Polargitter

Wahl der Punktepaare für BRIEF

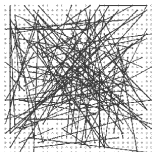
Ansätze für die Wahl der Punktepaare (X, Y) im $S \times S$ –
Bildausschnitt:



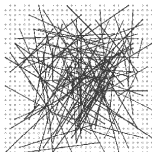
- I $(X, Y) \sim (-\frac{S}{2}, \frac{S}{2})$ -gleichverteilt
- II $(X, Y) \sim (0, \frac{1}{25}S)$ -normalverteilt
- III $X \sim (0, \frac{1}{25}S)$ -normalverteilt, $Y \sim (X, \frac{1}{100}S)$ -normalverteilt
- IV Zufällige Punktepaare auf einem Polargitter
- V $X = (0, 0)^T$, Y nimmt alle Punkte auf einem Polargitter an.

Wahl der Punktepaare für BRIEF

Ansätze für die Wahl der Punktepaare (X, Y) im $S \times S$ –
Bildausschnitt:



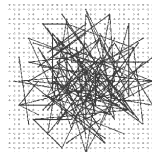
G I



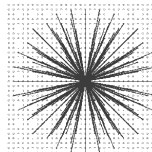
G II



G III



G IV



G V

- I $(X, Y) \sim (-\frac{S}{2}, \frac{S}{2})$ -gleichverteilt
- II $(X, Y) \sim (0, \frac{1}{25}S)$ -normalverteilt
- III $X \sim (0, \frac{1}{25}S)$ -normalverteilt, $Y \sim (X, \frac{1}{100}S)$ -normalverteilt
- IV Zufällige Punktepaare auf einem Polargitter
- V $X = (0, 0)^T$, Y nimmt alle Punkte auf einem Polargitter an.

Ergebnis:

Erzielt gute Wiedererkennungsraten bei geringem Rechenzeit- und Speicheraufwand.

Ergebnis:

Erzielt gute Wiedererkennungsraten bei geringem Rechenzeit- und Speicheraufwand.

Problem:

Anfälligkeit für Rotationen und Größenänderungen

ORB

Oriented FAST and Rotated BRIEF

ORB

Oriented FAST and Rotated BRIEF

Verwendet den Feature Detector oFAST, der Orientierungsinformationen für die Rotationskorrektur zur Verfügung stellt.

ORB

Oriented FAST and Rotated BRIEF

Verwendet den Feature Detector oFAST, der Orientierungsinformationen für die Rotationskorrektur zur Verfügung stellt.

Speichert fünf skalierte Deskriptoren für den Umgang mit Größenänderungen.

oFAST

Erweitert den FAST Detektor um Orientierungsinformationen.

oFAST

Erweitert den FAST Detektor um Orientierungsinformationen.

Berechnung des Intensitätsschwerpunkts:

$$C = \left(\frac{m_{10}}{m_{00}}, \frac{m_{01}}{m_{00}} \right), \text{ mit } m_{pq} = \sum_{x,y} x^p y^q I(x, y)$$

oFAST

Erweitert den FAST Detektor um Orientierungsinformationen.

Berechnung des Intensitätsschwerpunkts:

$$C = \left(\frac{m_{10}}{m_{00}}, \frac{m_{01}}{m_{00}} \right), \text{ mit } m_{pq} = \sum_{x,y} x^p y^q I(x, y)$$

Aus dem Vektor \overrightarrow{OC} vom Mittelpunkt zum Schwerpunkt ergibt sich die Orientierung $\theta = \text{atan2}(m_{01}, m_{10})$.

Steered BRIEF

Steered BRIEF war der erste Ansatz für die Wahl der Punktepaare zum Aufbau des Deskriptors.

Steered BRIEF

Steered BRIEF war der erste Ansatz für die Wahl der Punktepaare zum Aufbau des Deskriptors.

Die Punktepaare werden zunächst wie bei BRIEF gewählt und in der $2 \times n$ Matrix S gespeichert.

Steered BRIEF

Steered BRIEF war der erste Ansatz für die Wahl der Punktepaare zum Aufbau des Deskriptors.

Die Punktepaare werden zunächst wie bei BRIEF gewählt und in der $2 \times n$ Matrix S gespeichert.

Mit der zu θ korrespondierenden Rotationsmatrix werden dann die eigentlichen Punktepaare $S_\theta = R_\theta S$ berechnet.

Steered BRIEF

Steered BRIEF war der erste Ansatz für die Wahl der Punktepaare zum Aufbau des Deskriptors.

Die Punktepaare werden zunächst wie bei BRIEF gewählt und in der $2 \times n$ Matrix S gespeichert.

Mit der zu θ korrespondierenden Rotationsmatrix werden dann die eigentlichen Punktepaare $S_\theta = R_\theta S$ berechnet.

Problem:

Die Intensitätsvergleiche verlieren durch die Rotation an Varianz.

Varianz und Korrelation

Varianz und Korrelation der Intensitätsvergleiche der gewählten Punktepaare beeinflussen die Aussagekraft des Deskriptors.

Varianz und Korrelation

Varianz und Korrelation der Intensitätsvergleiche der gewählten Punktepaare beeinflussen die Aussagekraft des Deskriptors.

Hohe Varianz bedeutet, dass die einzelnen Vergleiche spezifischer für den Bildausschnitt sind.

Varianz und Korrelation

Varianz und Korrelation der Intensitätsvergleiche der gewählten Punktepaare beeinflussen die Aussagekraft des Deskriptors.

Hohe Varianz bedeutet, dass die einzelnen Vergleiche spezifischer für den Bildausschnitt sind.

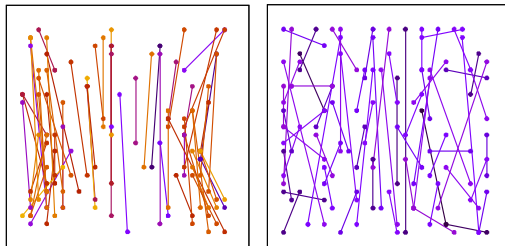
Niedrige Korrelation bedeutet, dass der resultierende Bitstring mehr (nicht-redundante) Information enthält.

Varianz und Korrelation

Varianz und Korrelation der Intensitätsvergleiche der gewählten Punktepaare beeinflussen die Aussagekraft des Deskriptors.

Hohe Varianz bedeutet, dass die einzelnen Vergleiche spezifischer für den Bildausschnitt sind.

Niedrige Korrelation bedeutet, dass der resultierende Bitstring mehr (nicht-redundante) Information enthält.



rBRIEF

Ergebnis eines Machine Learning Verfahrens, das nach unkorrelierten Punktepaaren mit hoher Varianz sucht. Als Trainingsset wurden 300k Keypoints aus Bildern des PASCAL 2006 Sets eingesetzt.

rBRIEF

Ergebnis eines Machine Learning Verfahrens, das nach unkorrelierten Punktepaaren mit hoher Varianz sucht. Als Trainingsset wurden 300k Keypoints aus Bildern des PASCAL 2006 Sets eingesetzt.

Ablauf:

- Sortieren der Vergleiche nach Abstand ihres Mittelwerts zu 0,5
- Bis genug Punktepaare ausgewählt wurden:
 - Oberstes Element aus der List nehmen
 - Auf Korrelation mit bereits ausgewählten Vergleichen überprüfen
 - Bei niedriger Korrelation zur Auswahl hinzufügen, sonst verwerfen

Speicherung der Deskriptoren

Zur Speicherung der ORB Deskriptoren kann Locality Sensitive Hashing (LSH) eingesetzt werden.

Die geringe Korrelation der Bitstellen durch rBRIEF sorgt für eine gleichmäßige Ausnutzung der Buckets.

→ Schnelle Vergleiche, geringer Speicherbedarf

Speicherung der Deskriptoren

Zur Speicherung der ORB Deskriptoren kann Locality Sensitive Hashing (LSH) eingesetzt werden.

Die geringe Korrelation der Bitstellen durch rBRIEF sorgt für eine gleichmäßige Ausnutzung der Buckets.

→ Schnelle Vergleiche, geringer Speicherbedarf

Um die Anfälligkeit für Größenänderungen zu reduzieren werden fünf um $\sqrt{2}$ skalierte Deskriptoren berechnet und gespeichert.

BRISK

Binary Robust Invariant Scalable Keypoints

BRISK

Binary Robust Invariant Scalable Keypoints

Verwendet einen Feature Detector, der Skalierungsinformationen zu Verfügung stellt.

BRISK

Binary Robust Invariant Scalable Keypoints

Verwendet einen Feature Detector, der Skalierungsinformationen zu Verfügung stellt.

Orientierungsinformationen für die Rotationskorrektur werden aus den für den Deskriptor gewählten Punkten ermittelt.

Feature Detection für BRISK

Der verwendete Feature Detector basiert auf der FAST-Variante AGAST.

Feature Detection für BRISK

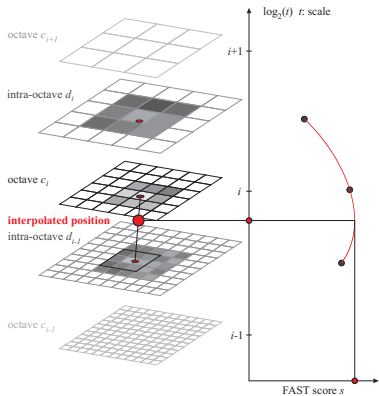
Der verwendete Feature Detector basiert auf der FAST-Variante AGAST.

Um Skalierungsinformation zu ermitteln, wird die Keypointsuche im diskretisierten Skalenraum durchgeführt.

Hierzu werden 8 Skalierungsebenen c_i , d_i des Bildes berechnet. Die Skalierung t der Ebenen wird gewählt als:

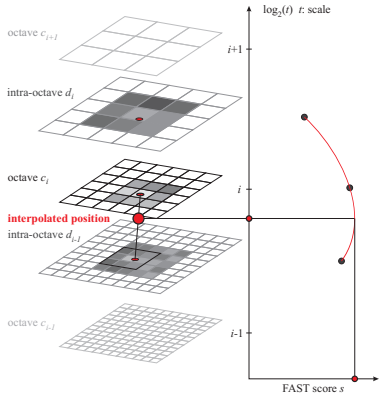
$$t(c_i) = 2^i ; t(d_i) = 1,5 \cdot 2^i$$

Feature Detection für BRISK



Ablauf der Keypoint Suche:

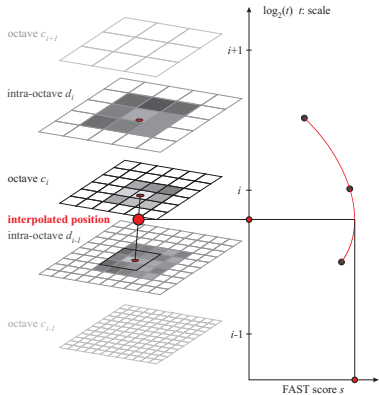
Feature Detection für BRISK



Ablauf der Keypoint Suche:

- Suche Keypoints in allen Ebenen

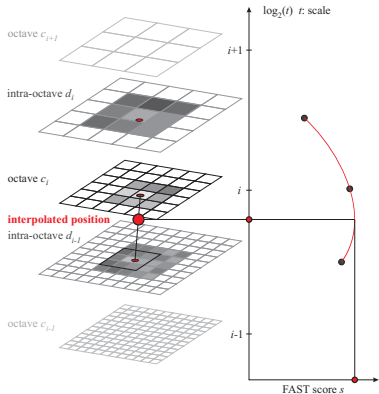
Feature Detection für BRISK



Ablauf der Keypoint Suche:

- Suche Keypoints in allen Ebenen
- Wähle lokale Maxima der FAST scores in ihrer Ebene

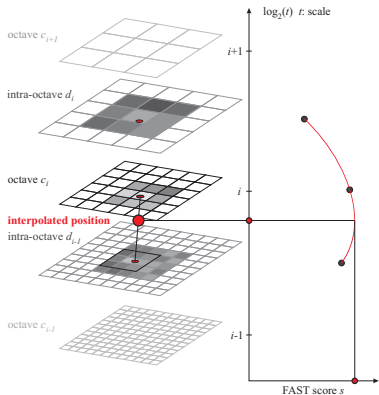
Feature Detection für BRISK



Ablauf der Keypoint Suche:

- Suche Keypoints in allen Ebenen
- Wähle lokale Maxima der FAST scores in ihrer Ebene
- Wähle davon lokale Maxima der FAST scores bezüglich der Skala

Feature Detection für BRISK

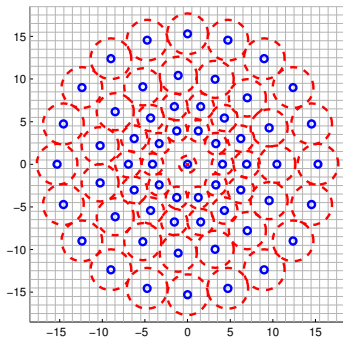


Ablauf der Keypoint Suche:

- Suche Keypoints in allen Ebenen
- Wähle lokale Maxima der FAST scores in ihrer Ebene
- Wähle davon lokale Maxima der FAST scores bezüglich der Skala
- Quadratische Interpolation zur Ermittlung der tatsächlichen Skala

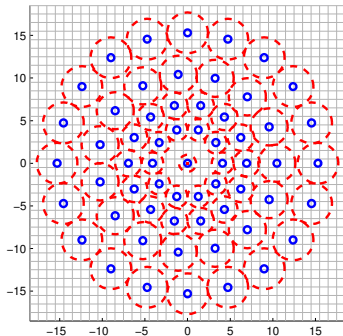
Wahl der Punktepaare für BRISK

Zunächst werden einzelne Punkte auf konzentrischen Kreisen um den Mittelpunkt gewählt.



Wahl der Punktepaare für BRISK

Zunächst werden einzelne Punkte auf konzentrischen Kreisen um den Mittelpunkt gewählt.



Aus der Menge aller möglichen Paare werden zwei Teilmengen ausgewählt:

$L := \text{Abstände} > 13,67t$

$S := \text{Abstände} < 9,75t$

Wahl der Punktepaare für BRISK

Aus den Punktepaaren in L wird der Richtungsvektor für den Bildausschnitt bestimmt:

$$\vec{v} = (v_x, v_y) = \frac{1}{|L|} \cdot \sum_{p_i, p_j \in L} g(p_i, p_j)$$

Daraus kann dann der Rotationswinkel $\theta = \text{atan2}(v_y, v_x)$ berechnet werden.

Wahl der Punktepaare für BRISK

Aus den Punktepaaren in L wird der Richtungsvektor für den Bildausschnitt bestimmt:

$$\vec{v} = (v_x, v_y) = \frac{1}{|L|} \cdot \sum_{p_i, p_j \in L} g(p_i, p_j)$$

Daraus kann dann der Rotationswinkel $\theta = \text{atan2}(v_y, v_x)$ berechnet werden.

Diese Rotation wird auf die Punktepaare in S angewendet, aus deren Intensitätsvergleichen dann der Bitstring aufgebaut wird.

Vergleich von ORB und BRISK

Wesentliche Unterschiede der beiden Verfahren:

Vergleich von ORB und BRISK

Wesentliche Unterschiede der beiden Verfahren:

- Feature Detection:
 - ORB: oFAST
 - BRISK: AGAST mit Suche im Skalenraum

Vergleich von ORB und BRISK

Wesentliche Unterschiede der beiden Verfahren:

- Feature Detection:
 - ORB: oFAST
 - BRISK: AGAST mit Suche im Skalenraum
- Wahl der Punktepaare:
 - ORB: rBRIEF
 - BRISK: Punkte auf konzentrischen Kreisen

Vergleich von ORB und BRISK

Wesentliche Unterschiede der beiden Verfahren:

- Feature Detection:
 - ORB: oFAST
 - BRISK: AGAST mit Suche im Skalenraum
- Wahl der Punktepaare:
 - ORB: rBRIEF
 - BRISK: Punkte auf konzentrischen Kreisen
- Umgang mit Rotation:
 - ORB: Keypoints mit Orientierungsinformation
 - BRISK: Orientierungsbestimmung aus Punktepaaren

Vergleich von ORB und BRISK

Wesentliche Unterschiede der beiden Verfahren:

- Feature Detection:
 - ORB: oFAST
 - BRISK: AGAST mit Suche im Skalenraum
- Wahl der Punktepaare:
 - ORB: rBRIEF
 - BRISK: Punkte auf konzentrischen Kreisen
- Umgang mit Rotation:
 - ORB: Keypoints mit Orientierungsinformation
 - BRISK: Orientierungsbestimmung aus Punktepaaren
- Umgang mit Skalierung:
 - ORB: Deskriptoren für fünf Skalierungen
 - BRISK: Keypoints mit Skaleninformation

Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit!