Speeded-UP Robust Features

Referent: Farzin Ranjbar Mirzakhani

Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

Agenda

- SURF vs. SIFT - grober Vergleich
  - Allgemein
  - Interesting-Point-Detector bzw. Feature-Detector
  - Skalierungsinvarianz
  - Feature-Descriptor
- SURF – detaillierte Vorstellung
  - Feature-Detector
  - Feature-Descriptor
- Literatur- und Abbildungsverzeichnis

SURF vs. SIFT – grober Vergleich

SURF vs. SIFT - Allgemein

SIFT	SURF
1999	2006
sehr langsam	langsam (schneller als SIFT u.a. wegen Approximationen)
langsam für Echtzeit-Anwendungen	
patentiert	

Abbildung 1: SIFT und SURF im groben Vergleich

SURF vs. SIFT – IP-Detection

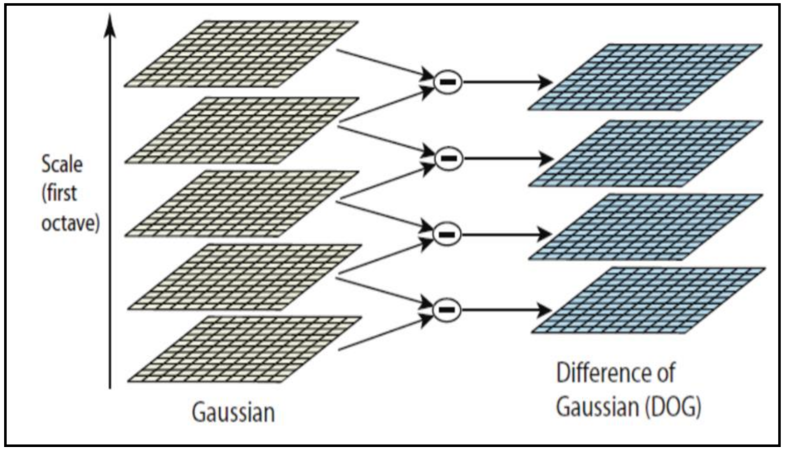

Abbildung 2: SIFT – DOG

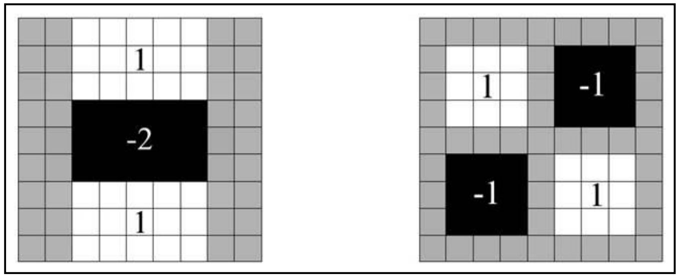

Abbildung 4: SURF - Boxfilter

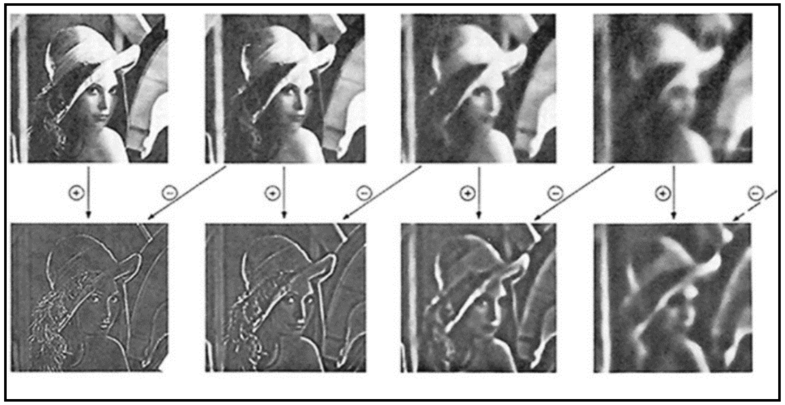

Abbildung 3: SIFT – DOG, visuelles Beispiel

SURF vs. SIFT – Skalierungsinvarianz

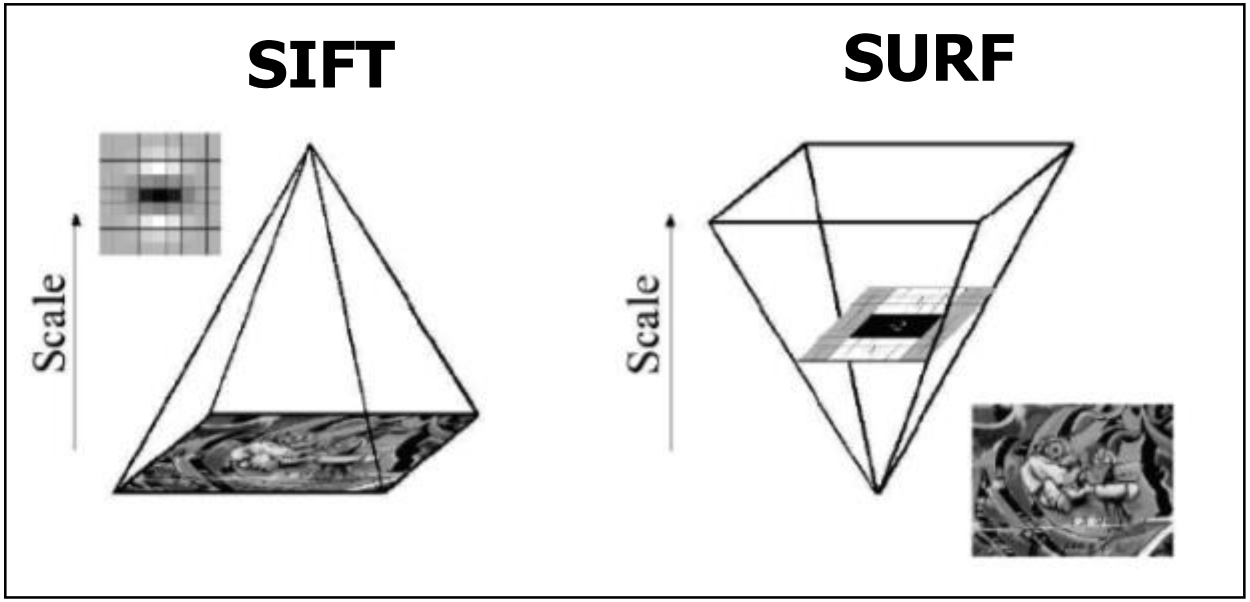

Abbildung 5: Erzeugung von Skalierungsinvarianz bei SIFT vs. SURF

Auf der linken Seite wird die Größe des Bildes immer weiter verkleinert, auf der rechten Seite werden die Filter nach und nach vergrößert.

SURF vs. SIFT – Feature-Descriptor

- **SIFT**
  - Descriptor bzw. Feature-Vector mit 128 Einträgen für jedes Feature.
- **SURF**
  - Descriptor bzw. Feature-Vector mit 64 Einträgen für jedes Feature.

SURF – detaillierte Vorstellung

Universität Hamburg

DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

SURF – detaillierte Vorstellung - Agenda

- SURF
  - Feature-Detector
    - Wie werden die IPs mit Hilfe von Box-Filter gefunden?
    - Wie wird die Skalierungsinvarianz garantiert?
  - Feature-Descriptor
    - Wie wird der Descriptor im Groben erstellt?

Feature-Detector

Wie werden die IPs mit Hilfe von Box-Filter gefunden?

Universität Hamburg

DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

SURF – Gewichtung von Bildpunkten

- Bild wird zunächst zu einem Graustufenbild konvertiert
- Um die Gewichtung eines Pixels zu bestimmen, wird es mit drei Filtern Lxx, Lyy, Lxy gefaltet
- Die Filter basieren auf der zweiten Ableitung der Gauß-Funktion und geben die Bildintensitätssteigung des Pixels am Punkt (x, y) in horizontaler (Lxx), vertikaler (Lyy) und diagonaler (Lxy) Richtung an.

SURF – Gewichtung von Bildpunkten

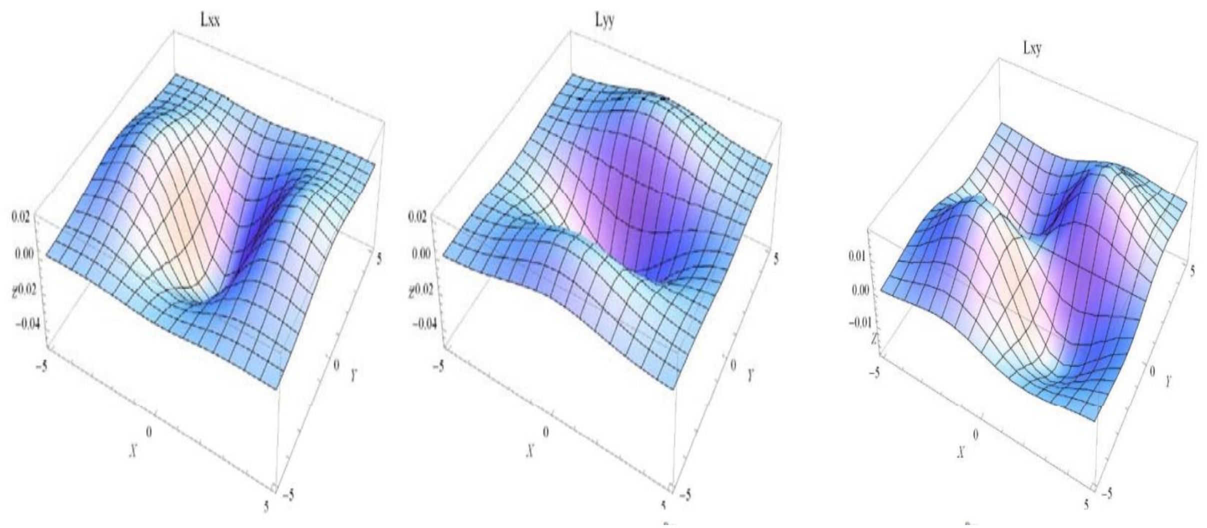

Abbildung 6: Horizontaler, vertikaler und diagonaler Filter

- Man erhält durch die Faltung mit den Filtern einen Aufschluss über die Kontrastverteilung im Umkreis des Bildpunktes.

SURF – Hesse-Matrix

- Eine Hesse-Matrix stellt alle möglichen Ableitungskombinationen einer Funktion dar.
- Folgich auch alle möglichen Ableitungskombinationen der Gauß-Funktion und damit die drei vorgestellten Filter:

$$H(x,\sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(\mathbf{x},\sigma) L_{xy}(\mathbf{x},\sigma) \\ L_{xy}(\mathbf{x},\sigma) L_{yy}(\mathbf{x},\sigma) \end{bmatrix}$$

Abbildung 7: Aufbau der Hesse-Matrix

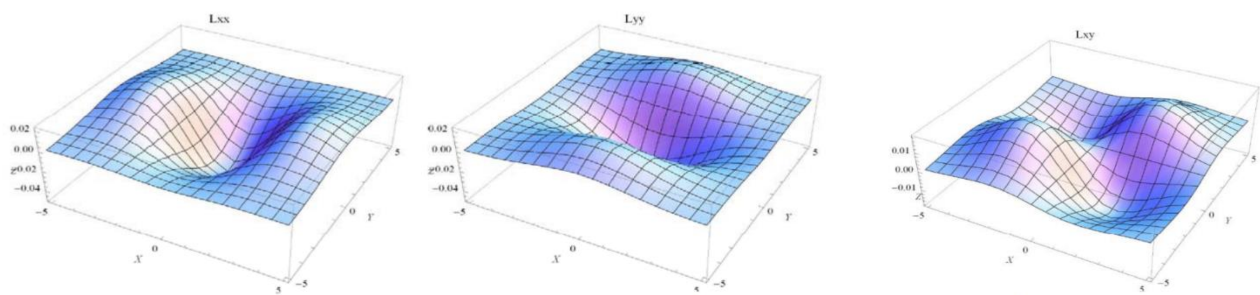

Abbildung 8: Horizontaler, vertikaler und diagonaler Filter

SURF – Determinante der Hesse-Matrix

- Um alle drei Filter zu kombinieren und nur einen Wert für jedes Pixel zu speichern, wird die Determinante der Hesse-Matrix als Gewichtung für die Pixel genommen:

$$det(H) = \mathsf{L}_{xx} * \mathsf{L}_{yy} * \mathsf{L}_{xy}^2$$

- Je höher der Wert eines Bildpunktes ist, desto kontrastreicher ist demnach seine Umgebung und er kommt eher als IP in Frage.

SURF – Verkürzung der Laufzeit

- Für die Faltung mit einem Bild werden Lxx, Lyy & Lxy in SURF diskretisiert und weitergehend durch die Mittelwertfilter (Box-Filter) Dxx, Dyy & Dxy approximiert.

SURF – Verkürzung der Laufzeit

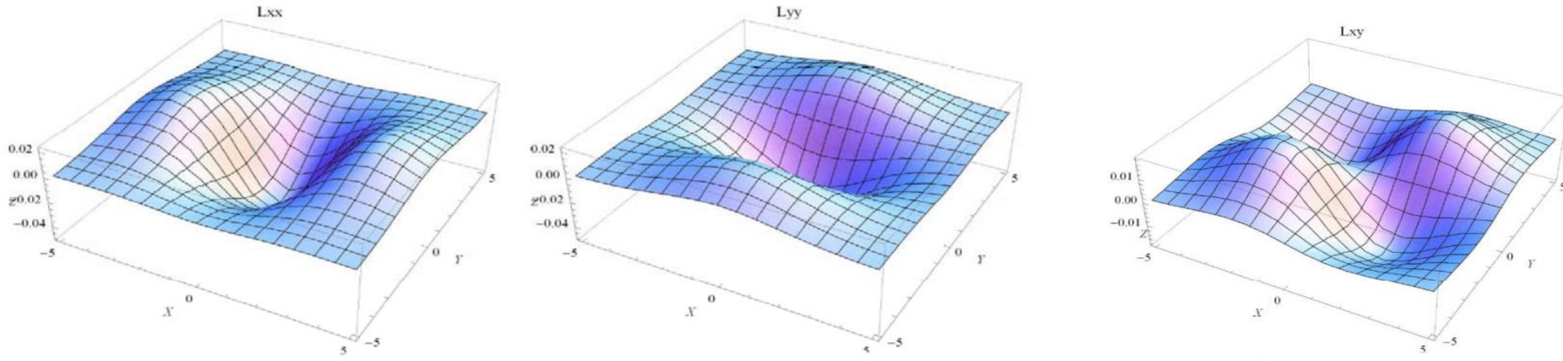

Abbildung 9: Horizontaler, vertikaler und diagonaler Filter

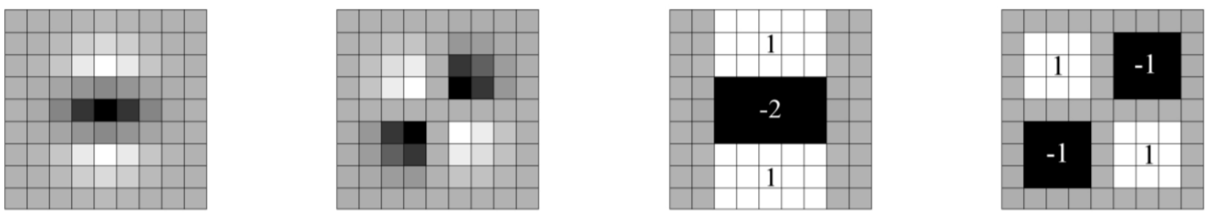

Abbildung 10: Filter Lyy, Lxy und die approx. Varianten Dyy und Dxy

- Von links nach rechts: Die diskretisierten Filtermasken für die zweite partielle Ableitung der Gauß-Funktion in yy- (Lyy) und xy-Richtung (Lxy) und deren in SURF angewandten Approximationen Dyy & Dxy. Die grauen Regionen entsprechen einer Gewichtung mit 0.

SURF – Verkürzung der Laufzeit

- Box-Filter lassen sich ideal auf ein Integralbild anwenden. Dadurch werden die Anwendungskosten der Filter unabhängig von Filter und Bildgröße.
- Integralbild
  - Der Wert eines Pixels x = (x, y) ist die Summe der Werte aller Pixel im Rechteck zwischen dem Ursprung des Bildes und dem Pixel.
  - Damit ist es möglich die Summe der Werte aller Pixel innerhalb eines beliebigen Rechtecks mit nur vier Speicherzugriffen und drei Additionen zu bestimmen.

SURF – Verkürzung der Laufzeit

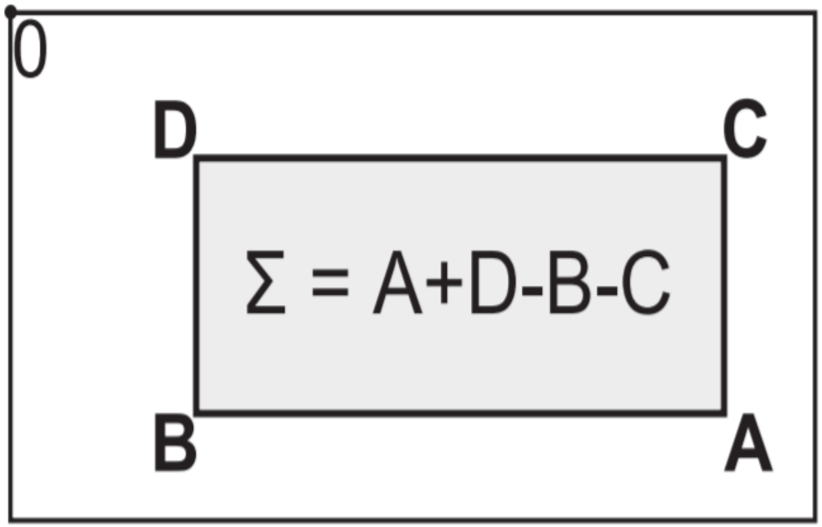

Abbildung 11: Berechnung einer Fläche auf dem Integralbild

- Um die Summe des grauen Rechtecks zu ermitteln, sind unabhängig der Größe nur 4 Speicherzugriffe (A,B,C,D) und 3 Additionen nötig.

SURF – Verkürzung der Laufzeit

- Auswirkung auf die Berechnung der Hesse-Matrix und ihre Determinante

$$\mathcal{H}(\mathbf{x},\sigma) = \begin{pmatrix} L_{xx}(\mathbf{x},\sigma) & L_{xy}(\mathbf{x},\sigma) \\ L_{yx}(\mathbf{x},\sigma) & L_{yy}(\mathbf{x},\sigma) \end{pmatrix} \quad \mathcal{H}_{approx.}(\mathbf{x},s) = \begin{pmatrix} D_{xx}(\mathbf{x},s) & D_{xy}(\mathbf{x},s) \\ D_{xy}(\mathbf{x},s) & D_{yy}(\mathbf{x},s) \end{pmatrix}$$

$$det(\mathcal{H}_{approx.}) = D_{xx}D_{yy} - (wD_{xy})^2 \qquad w \approx 0.912$$

Abbildung 12: Berechnung der Hesse-Matrix und ihre Determinante (mit den Box-Filtern)

SURF – Berechnungsbeispiel

$$
\begin{pmatrix}
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\
1 & 2 & 3 & 4 & \mathbf{5} & 6 & 7 & 8 & 9 \\
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9
\end{pmatrix}
\xrightarrow{\text{Integralbild}}
\begin{pmatrix}
1 & 3 & 6 & 10 & 15 & 21 & 28 & 36 & 45 \\
2 & 6 & 12 & 20 & 30 & 42 & 56 & 72 & 90 \\
3 & 9 & 18 & 30 & 45 & 63 & 84 & 108 & 135 \\
4 & 12 & 24 & 40 & 60 & 84 & 112 & 144 & 180 \\
5 & 15 & 30 & 50 & 75 & 105 & 140 & 180 & 225 \\
6 & 18 & 36 & 60 & 90 & 126 & 168 & 216 & 270 \\
7 & 21 & 42 & 70 & 105 & 147 & 196 & 252 & 315 \\
8 & 24 & 48 & 80 & 120 & 168 & 224 & 288 & 360 \\
9 & 27 & 54 & 90 & 135 & 189 & 252 & 324 & 405
\end{pmatrix}
$$

Abbildung 13: Berechnungsbeispiel des Integralbilds

- Basierend auf dem Integralbild die Werte der Hesse-Matrix des mittleren Punktes x = (5, 5) mit Filtern der Seitlänge 9 berechnen und die Determinante bestimmen

SURF – Berechnungsbeispiel

$$
\begin{pmatrix}
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\
1 & 2 & 3 & 4 & \mathbf{5} & 6 & 7 & 8 & 9 \\
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\
1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9
\end{pmatrix}
\xrightarrow[\text{Integralbild}]{}
\begin{pmatrix}
1 & 3 & 6 & 10 & 15 & 21 & 28 & 36 & 45 \\
2 & 6 & 12 & 20 & 30 & 42 & 56 & 72 & 90 \\
3 & 9 & 18 & 30 & 45 & 63 & 84 & 108 & 135 \\
4 & 12 & 24 & 40 & 60 & 84 & 112 & 144 & 180 \\
5 & 15 & 30 & 50 & 75 & 105 & 140 & 180 & 225 \\
6 & 18 & 36 & 60 & 90 & 126 & 168 & 216 & 270 \\
7 & 21 & 42 & 70 & 105 & 147 & 196 & 252 & 315 \\
8 & 24 & 48 & 80 & 120 & 168 & 224 & 288 & 360 \\
9 & 27 & 54 & 90 & 135 & 189 & 252 & 324 & 405
\end{pmatrix}
$$

Abbildung 14: Berechnungsbeispiel des Integralbilds

Vertikaler Boxfilter

$$
\begin{aligned}
D_{yy}(\mathbf{x}, 9) &= 1 * (84 + 0 - 9 - 0) - \\
&\quad 2 * (168 + 9 - 18 - 84) + \\
&\quad 1 * (252 + 18 - 27 - 168) \\
&= 1 * 75 - 2 * 75 + 1 * 75 = 0
\end{aligned}
$$

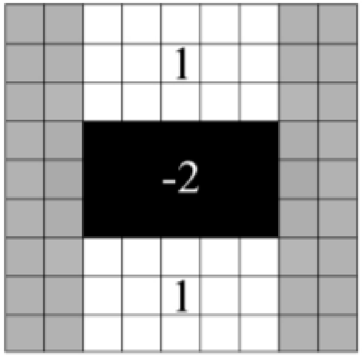

Abbildung 15: Vertikaler Boxfilter

SURF – Berechnungsbeispiel

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & \mathbf{5} & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{pmatrix} \xrightarrow[\text{Integralbild}]{} \begin{pmatrix} 1 & 3 & 6 & 10 & 15 & 21 & 28 & 36 & 45 \\ 2 & 6 & 12 & 20 & 30 & 42 & 56 & 72 & 90 \\ 3 & 9 & 18 & 30 & 45 & 63 & 84 & 108 & 135 \\ 4 & 12 & 24 & 40 & 60 & 84 & 112 & 144 & 180 \\ 5 & 15 & 30 & 50 & 75 & 105 & 140 & 180 & 225 \\ 6 & 18 & 36 & 60 & 90 & 126 & 168 & 216 & 270 \\ 7 & 21 & 42 & 70 & 105 & 147 & 196 & 252 & 315 \\ 8 & 24 & 48 & 80 & 120 & 168 & 224 & 288 & 360 \\ 9 & 27 & 54 & 90 & 135 & 189 & 252 & 324 & 405 \end{pmatrix}$$

Abbildung 16: Berechnungsbeispiel des Integralbilds

Horizontaler Boxfilter

$$\begin{aligned} D_{xx}(\mathbf{x}, 9) &= 1 * (42 + 0 - 0 - 12) - \\ &\quad 2 * (147 + 12 - 42 - 42) + \\ &\quad 1 * (315 + 42 - 147 - 90) \\ &= 1 * 30 - 2 * 75 + 1 * 120 = 0 \end{aligned}$$

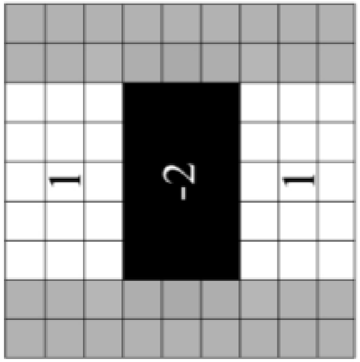

Abbildung 17: Horizontaler Boxfilter

SURF – Berechnungsbeispiel

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & \mathbf{5} & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{pmatrix} \xrightarrow[\text{Integralbild}]{} \begin{pmatrix} 1 & 3 & 6 & 10 & 15 & 21 & 28 & 36 & 45 \\ 2 & 6 & 12 & 20 & 30 & 42 & 56 & 72 & 90 \\ 3 & 9 & 18 & 30 & 45 & 63 & 84 & 108 & 135 \\ 4 & 12 & 24 & 40 & 60 & 84 & 112 & 144 & 180 \\ 5 & 15 & 30 & 50 & 75 & 105 & 140 & 180 & 225 \\ 6 & 18 & 36 & 60 & 90 & 126 & 168 & 216 & 270 \\ 7 & 21 & 42 & 70 & 105 & 147 & 196 & 252 & 315 \\ 8 & 24 & 48 & 80 & 120 & 168 & 224 & 288 & 360 \\ 9 & 27 & 54 & 90 & 135 & 189 & 252 & 324 & 405 \end{pmatrix}$$

Abbildung 18: Berechnungsbeispiel des Integralbilds

Diagonaler Boxfilter

$$\begin{aligned} D_{xy}(\mathbf{x}, 9) &= 1 * (40 + 1 - 4 - 10) - \\ &\quad 1 * (144 + 15 - 60 - 36) - \\ &\quad 1 * (80 + 5 - 8 - 50) - \\ &\quad 1 * (288 + 75 - 120 - 180) \\ &= 1 * 27 - 1 * 63 - 1 * 27 + 1 * 63 = 0 \end{aligned}$$

Determinante von x

$$det(\mathcal{H}_{approx.}) = D_{xx}D_{yy} - (0.912 D_{xy})^2$$
$$= 0*0 - (0.912*0)^2 = 0$$

Feature-Detector

Wie wird die Skalierungsinvarianz garantiert?

SURF – Oktaven & Ebenen

- Die Extrempunkte müssen wie bei SIFT auf verschiedenen Skalierungen gesucht werden, um Skalierungsinvarianz zu erreichen.
- Dafür wird die Größe der Box-Filter, die zur Berechnung der Hesse-Matrix genutzt werden, variiert.
- Man vergrößert die Filter, da ihre Anwendung unabhängig ihrer Größe in konstanter Zeit geschieht.

SURF – Oktaven & Ebenen

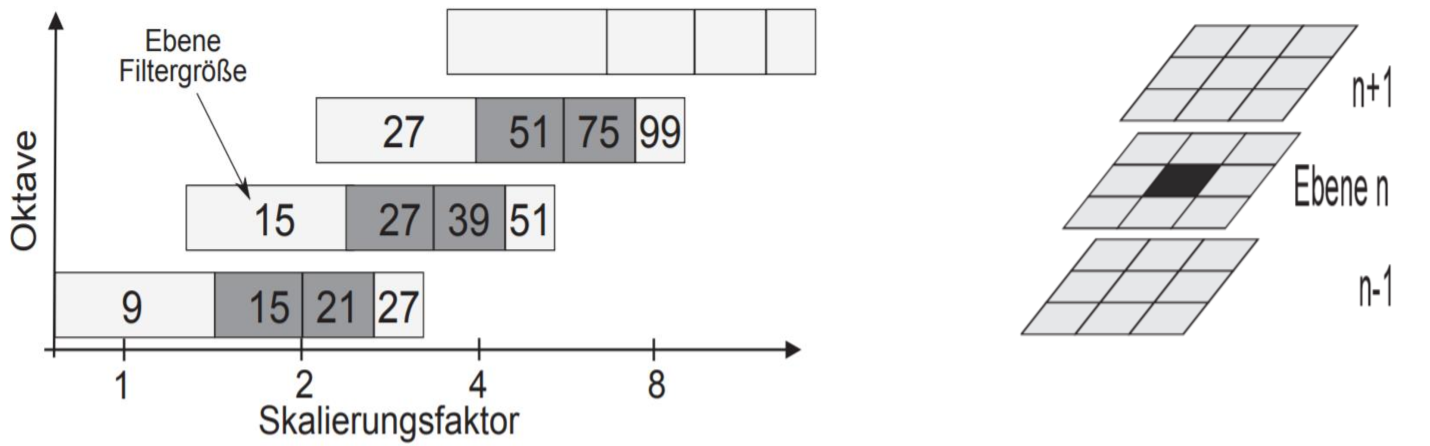

Abbildung 19: Oktaven und Ebenen in Abhängigkeit der Filtergröße

- Mit drei Oktaven, die aus je vier Ebenen bestehen, werden nahezu alle wichtigen Punkte erkannt.
- Durch weitere Oktaven werden kaum zusätzliche Bildpunkte gefunden.

Feature-Descriptor

Wie werden der Descriptor im Groben erstellt?

SURF – Feature-Descriptor

- Ähnlich dem SIFT-Descriptor beschreibt auch der SURF-Descriptor wie die Pixelintensitäten in der Nachbarschaft jedes IP verteilt sind.

SURF – Feature-Descriptor

- Folgendes wird für jeder IP durchlaufen
  - Zunächst wird die Hauptorientierung des IP berechnet
  - Als nächstes wird in dieser Richtung ein rechteckiges Fenster um den IP gelegt
    - Dieses Fenster wird in 16 gleich große Subregionen aufgeteilt. In jeder dieser Subregionen wird die Verteilung der Pixelintensität berechnet und anschließend in einen Vektor der Länge 4 extrahiert.
    - Durch die 16 Subregionen ergibt sich somit ein Descriptor-Vector der Länge 4*16 = 64.

Literatur- und Abbildungsverzeichnis

Literaturverzeichnis

- **[1]** Kirill Yasinovskiy: Bildmerkmalssuche: Seminar Computational Photography, Abgerufen am x.x.19 von: https://www.informatik.hu-berlin.de/de/forschung/gebiete/viscom/teaching/media/cphoto10/cphoto10_04.pdf
- **[2]** Christoffer Fuß: Evaluierung von Feature Deskriptoren, Abgerufen am x.x.19 von: https://www.informatik.hu-berlin.de/de/forschung/gebiete/viscom/thesis/final/Studienarbeit_Fuss_201110.pdf
- **[3]** Robert Hofmann: Implementierung des SURF-Feature-Detektors auf der GPU mit Hilfe von CUDA, Abgerufen am x.x.19 von: https://www.uni-koblenz.de/~cg/Studienarbeiten/SA_RobertHofmann.pdf
- **[4]** Philipp Schaber, Jakob Huber, Stephan Kopf: Analyse von Bildmerkmalen zur Identifikation wichtig er Bildregionen, Abgerufen am x.x.19 von: https://ub-madoc.bib.uni-mannheim.de/33097/1/Kopf_2013d.pdf

Literaturverzeichnis

- **[5]** Unknown: Image Features, Hough Transform Image Pyramid, Folie 28, Abgerufen am x.x.19 von: https://slideplayer.com/slide/5186539/
- **[6]** Stephan Kopf: Integralbild, Abgerufen am x.x.19 von: https://www.researchgate.net/figure/Integralbild-Um-die-Summe-des-grauen-Rechtecks-zu-ermitteln-sind-unabhaengig-dessen-Groesse_fig1_237007567

Abbildungsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Vielen Dank für Eure Aufmerksamkeit

Farzin Ranjbar Mirzakhani

Universität Hamburg

DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG