

Vorlesung: Angewandte Sensorik

Prof. J. Zhang
zhang@informatik.uni-hamburg.de

Universität Hamburg
Fachbereich Informatik
AB Technische Aspekte Multimodaler Systeme

21. Januar 2006

„Symmetry is what we see at a glance; [...]“

aus: *Plensées - Section 1: Thoughts on mind and on style*
von: Blaise Pascal, 1660

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---------------------------------|-----|
| 9. Symmetrie | 442 |
| Was ist Symmetrie? | 443 |
| Symmetrie-Detektoren | 453 |
| Symmetrie-Hierarchien | 474 |
| Symmetrie-Signaturen | 477 |

Was ist Symmetrie?

- Symmetrie ist überall.
- Symmetrie beeinflusst unsere Wahrnehmung:
 - ◆ Symmetrische Gesichter sind schön.
 - ◆ Symmetrische Architektur ist schön.
 - ◆ Symmetrische Schneeflocken fallen aus allen Wolken.



Was ist Symmetrie?

- griech.: **symmetros** = regelmäßig, ebenmäßig
- Symmetrie ist vielfältig, aber es steckt immer
 - ◆ **Regelmäßigkeit** oder
 - ◆ **wiederkehrendes Element**dahinter.
- Symmetrie hat etwas mit dem zu tun, was wir sehen:
 - ◆ mit Formen,
 - ◆ mit Mustern,
 - ◆ mit dem Aussehen der Welt.

Was ist Symmetrie?

Beispiel für Symmetrie: **Die Schneeflocke**

- Man kann jede Schneeflocke um 60° drehen ...
- und dann sieht sie aus wie vorher!
- Schneeflocken sind **drehsymmetrisch**.
- Die Drehung um 60° wird als **Symmetrieoperation** bezeichnet.



Symmetrieoperation

Eine Symmetrieoperation macht etwas mit einem Ding, und danach sieht man nicht, das etwas gemacht wurde.

Im Zweidimensionalen sind vor allem die folgenden Symmetrien von Bedeutung:

- Drehsymmetrie,
- Spiegelsymmetrie,
- Translationssymmetrie.

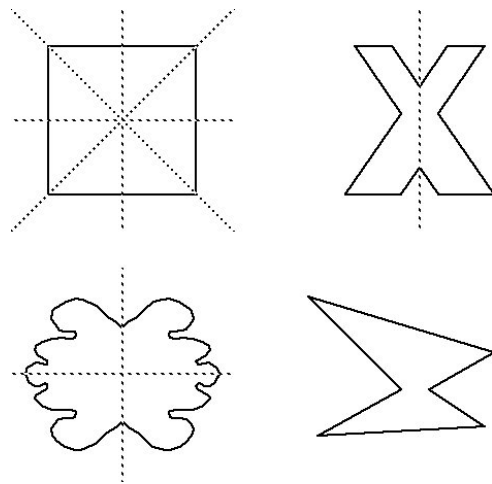
Drehsymmetrie

- auch: Radialsymmetrie oder Radiärsymmetrie
- Die Drehung eines Objektes um einen gewissen Winkel um einen bestimmten Punkt (2D) bzw. eine Gerade (3D) bringt das Objekt wieder mit sich selbst zur Deckung.
- Spezialfall: **Punktsymmetrie**
 - ◆ Punktspiegelung
 - ◆ Drehung eines Objektes um 180° um ein Zentrum.



Spiegelsymmetrie

- auch: Bilaterale Symmetrie oder Achsensymmetrie
- häufigste Form der Symmetrie
- 2D: Symmetrieachse
- 3D: Symmetrieebene
- Zwei Punkte sind identisch, wenn sie auf einer Senkrechten zur Achse (Ebene) liegen und den gleichen Abstand zur Achse (Ebene) haben.



Translationssymmetrie

- Einfaches Muster: GGGGGGGGGGGG
- Symmetrieoperation: „Alle Gs einen Platz nach links rücken!“
- Muster bleibt wie oben.
- Teilweise feste Verschiebung notwendig, teilweise beliebig.



[M.C. Escher]

Andere Formen der Symmetrie

Sprache: Palindrome wie Otto und Anna

„Ein Neger mit Gazelle zagt im Regen nie.“

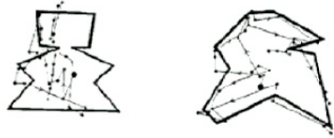
Musik: Johann Sebastian Bach



Contrapunktus: Die Noten scheinen an der Horizontalen gespiegelt.

Wahrnehmung von Symmetrie

- Symmetrie ist wichtig für das menschliche Sehen.



[Locher & Nodine (1989)]

- Symmetrie erzeugt Aufmerksamkeit und unterstützt visuelle Exploration.
- Besonders bedeutend:
Horizontale und vertikale Spiegelsymmetrien.[Palmer & Hemenway (1978)]

Symmetrie-Detektoren

In der Bildverarbeitung gibt es viele Detektoren, die Symmetrien in Bildern ermitteln:

- Generalized Symmetry Transform
- Discrete Symmetry Transform
- Fast Radial Symmetry Transform
- 1-dimensionaler Symmetrie-Detektor
- Quantitativer bilateraler Symmetrie-Detektor

Generalized Symmetry Transform

- Reisfeld, Wolfson und Yeshurun (1995)
- Lokale Operation auf Kantenbild.
- Sei $p_k = (x_k, y_k)$ ein Bildpunkt und $\nabla p_k = (\frac{\partial}{\partial x} p_k, \frac{\partial}{\partial y} p_k)$ der Gradient der Intensität des Punktes.
- Sei $v_k = (r_k, \theta_k)$ für jeden Punkt mit
 - ◆ $r_k = \log(1 + \|\nabla p_k\|)$ und
 - ◆ $\theta_k = \arctan(\frac{\partial}{\partial x} p_k, \frac{\partial}{\partial y} p_k)$.
- Sei des Weiteren l eine Linie durch zwei beliebige Punkte p_i und p_j und α_{ij} der Winkel zwischen l und der Horizontalen gegen den Uhrzeigersinn.

Generalized Symmetry Transform

- Es wird eine Nachbarschaftsbeziehung definiert:

$$\Gamma(p) = \left\{ (i, j) \mid \frac{p_i + p_j}{2} = p \right\}$$

- Außerdem eine Gewichtung der Distanz eines Punktepaars zu p :

$$D_\sigma(i, j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{\|p_i - p_j\|}{2\sigma}}$$

- Sowie eine Gewichtung der Phasen:

$$P(i, j) = (1 - \cos(\theta_i + \theta_j - 2\alpha_{ij}))(1 - \cos(\theta_i - \theta_j))$$

Generalized Symmetry Transform

- Es wird definiert, dass jedes Punktepaar

$$C(i, j) = D_\sigma(i, j) P(i, j) r_i r_j$$

zum Symmetriewert eines Punktes p liefert.

- Der Symmetriewert ist dann:

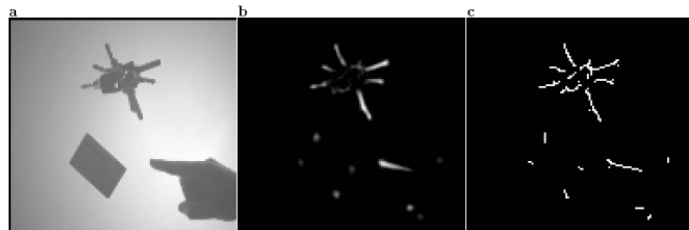
$$M_\sigma(p) = \sum_{(i,j) \in \Gamma(p)} C(i, j)$$

- Die Symmetrierichtung wird definiert als $\phi(p) = \varphi(i, j)$, so dass $C(i, j)$ maximal für alle $(i, j) \in \Gamma(p)$ ist.

Generalized Symmetry Transform

Abschließend wird die Symmetrie eines Punktes p definiert als:

$$S_\sigma(p) = (M_\sigma(p), \phi(p))$$



Discrete Symmetry Transform

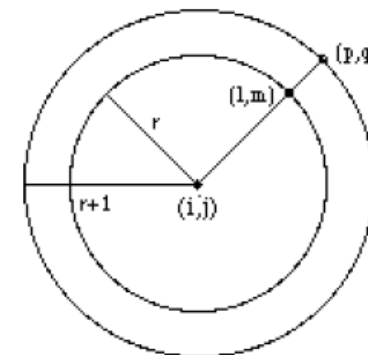
- Di Gesù und Valenti (1995)
- Zweiteiliger Algorithmus zur Berechnung der Kreissymmetrie (alle Punkte auf einen Kreis identisch):

1. Auswahl nicht-uniformer Zonen:

Berechnung eines Filters, so dass

$$E(i, j) = \sum_{(l,m) \in C_r, (p,q) \in C_{r+1}} |g(l, m) - g(p, q)|$$

mit $g(i, j)$ als Grauwert eines Bildpunktes, C_r und C_{r+1} als digitale Kreise und so miteinander verbundenen Punkten, dass $(l - p)^2 + (m - q)^2 = 1$ gilt.



2. Berechnung der Symmetriewerte:

Überall wo $E(i, j) > 0$:

$$DST(i, j) = E(i, j) \times T(i, j)$$

mit:

$$T(i, j) = 1 - \sqrt{\frac{\sum_k (T_k(i, j))^2}{n} - \left(\frac{\sum_k (T_k(i, j))}{n}\right)^2}$$

wobei

$$T_k(i, j) = \sum_{(l, m) \in C_r} \left| (i - l) \sin\left(\frac{k\pi}{n}\right) - (j - m) \cos\left(\frac{k\pi}{n}\right) \right| \times g(l, m)$$

Anwendung der Discrete Symmetry Transform

Extraktion von kreisförmigen Merkmalen aus Bildern:

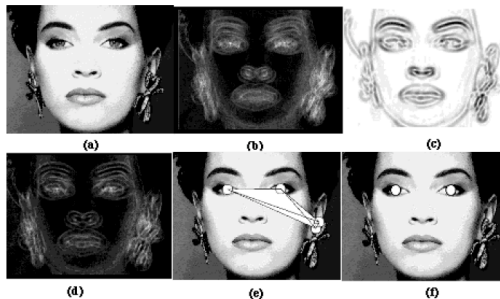
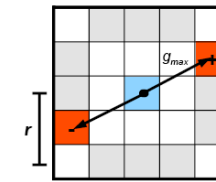


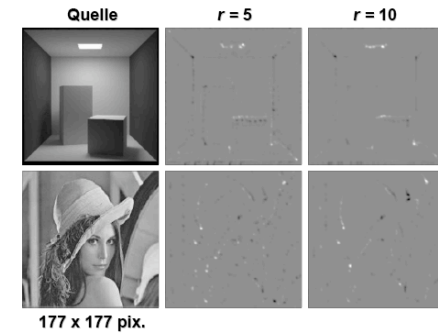
Fig. 8. a) Input image F ; b) the image $E(F)$; c) the image $T(F)$; d) the image $DST(F)$; e) candidate interest points; f) final result.

Fast Radial Symmetry Transform

- Loy und Zelinsky (2003)

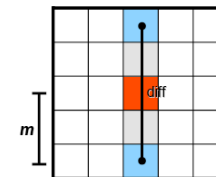


► Richtung des maximalen Gradienten



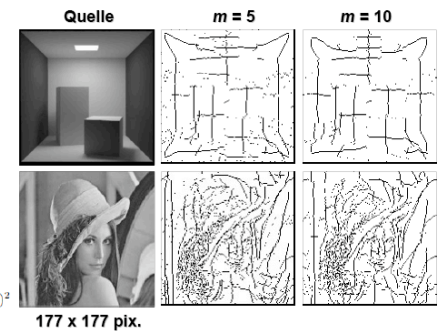
1-dimensionaler Symmetrie-Detektor

- Hübner und Zhang (2003)



► Normalisierter MSE

$$S^N(p_{x,y}, m) = 1 - \frac{1}{C \cdot m} \sum_{i=1}^m \sigma(i, m) \cdot g^N(p_{x-i,y}, p_{x+i,y})^2$$



Diskussion der bis hierher vorgestellten Ansätze

Symmetrie ist ein regionales Merkmal:

- Jedes Resultat stark abhängig von der Wahl der Operatorgröße.
- Symmetriewerte nur relativ ausgedrückt.
- Mit der Größe der betrachteten Region wächst die Aussagekraft, aber auch der Rechenaufwand.
- Große Operatoren reichen oft über den Bildraum hinaus.
- Große Operatoren anfälliger für Beleuchtungsschwankungen, Verdeckungen und perspektivische Verzerrung.
- Hierarchien unterschiedlicher Operatorgrößen zu nutzen, ist zu aufwändig.
- Ohne Vorwissen keine optimale Operatorgröße möglich.

Diskussion der bis hierher vorgestellten Ansätze

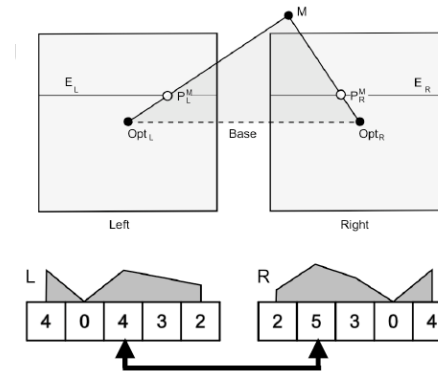
- Bisherige Ansätze alle **qualitativ**.
- Wünschenswert wären **quantitative** Aussagen.

| Qualitative Symmetrie | Quantitative Symmetrie |
|---|--|
| „Symmetrie ist [hoch] in einer Umgebung von [10 Pixeln] “ | „Symmetrie ist hoch in einer Umgebung von [10 Pixeln] “ |
| <ul style="list-style-type: none"> • benötigt a-priori Operatorgröße • gibt einen relativen, für gewöhnlich normalisierten Grad der Symmetrie in der betrachteten Umgebung wieder | <ul style="list-style-type: none"> • benötigt ein Abbruchkriterium • gibt eine absolute Größe zurück, die die symmetrische Umgebung beschreibt |
| Beispiele: Reisfeld operator, DiGesü operator, Loy operator, 1D operator, ... | Probleme: Ungenauigkeit, Fehlermaß Ansatz: Dynamische Programmierung |

Dynamisches Programmieren

- Effiziente Methode zur Lösung des Stereomatchingproblems.
- Distanzabschätzung durch Beobachtung der Verschiebung korrespondierender Bildmerkmale.
- Vereinfachung durch Nutzung der Epipolarlinien.
- Lösung im 2D-Suchraum.

Dynamisches Programmieren



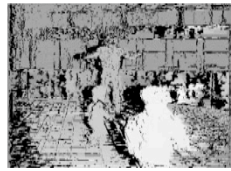
Dynamisches Programmieren



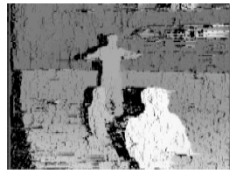
Links



Rechts



[Cox et al. (1996)]



[Bobick and Intille (1999)]

Dynamisches Programmieren

Berechnung von Kosten und optimalem Pfad:
[Zganec et al., 1996]

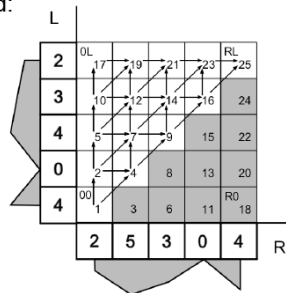
$$C(l, r) = \min(C_1(l, r), C_2(l, r), C_3(l, r))$$

$$C_1(l, r) = C(l-1, r) + W_1 T(l, r)$$

$$C_2(l, r) = C(l, r-1) + W_2 T(l, r)$$

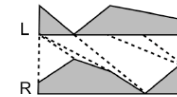
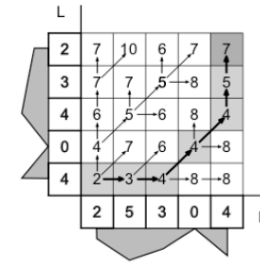
$$C_3(l, r) = C(l-1, r-1) + W_3 T(l, r)$$

$$T(l, r) = |L_l - R_r|$$



Quantitative bilaterale Symmetry durch Dyn. Progr.

Berechnung des gesamten Suchraums:



DPS Algorithmus

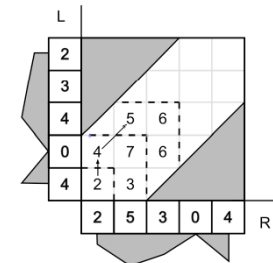
Iterative Berechnung mit Schwellwert:

► Parameter:

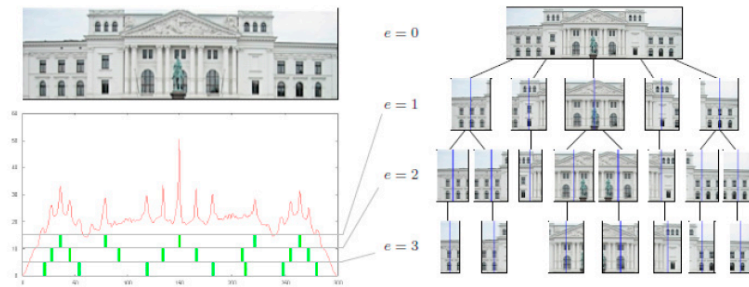
- Bandmaske Weite $w_B = 2$
- Absoluter Schwellwert $T = 5$
- Gewichte $W_i = 1$

► Ergebnis:

- Iterationsstop bei $l = 2$
- Mapping index $(1 / 2) \rightarrow S = 3$



Symmetrie-Hierarchien

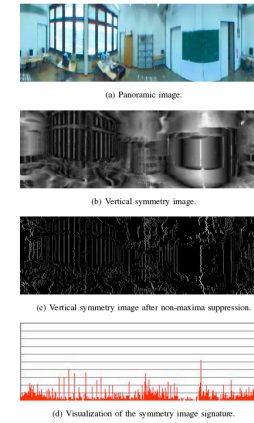


Symmetrie-Signaturen

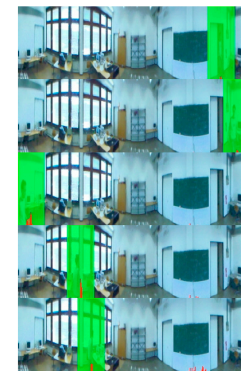
Vierstufiger Signatur-Algorithmus:

1. Erzeugen eines Panoramas.
2. DPS Algorithmus
3. Non-Maxima-Suppression
4. Aufsummieren der Spalten zu Signatur-Vektor.

Symmetrie-Signaturen



Tracking über Symmetrie-Signatur-Fehlern



Literatur

- [1] *Was ist Symmetrie?*, 2000. im Internet:
http://www.desy.de/expo2000/deutsch/dhtmlbrowser/webthemen/08_symmetrie/symmetrie.druck.htm.
- [2] GESÙ, V. DI und C. VALENTI: *The Discrete Symmetry Transform in Computer Vision*. Technischer Bericht, DMA Università di Palermo, 1995.
- [3] HUEBNER, K., D. WESTHOFF und J. ZHANG: *Optimized Quantitative Bilateral Symmetry Detection*. International Journal of Information Acquisition (IJIA), 2(3):241–249, September 2005.
- [4] HUEBNER, KAI: *Methods for Range Estimation and Situation Recognition using an Omnidirectional Vision System for Mobile Robots - Symmetry as a Natural Feature*, November 2001. im Internet:

http://www.informatik.uni-bremen.de/~khuebner/diploma/pdf/index_d.html.

- [5] LOCHER, P. und C. NODINE: *The perceptual value of symmetry*. Comput. Math. Applic., 17:475–484, 1989.
- [6] LOY, G. und A. ZELINSKY: *Fast Radial Symmetry for Detecting Points of Interest*. In: *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Band 25, Seiten 959–973, August 2003.
- [7] REISFELD, D., H. WOLFSON und Y. YESHURUN: *Context Free Attentional Operators: the Generalized Symmetry Transform*. International Journal of Computer Vision, 14:119–130, 1995.