Computer Vision

Bildvergleich / Template Matching

Prof. Dr. Kai Uwe Barthel

Internationaler Studiengang Medieninformatik

HTW Berlin

Vergleich von Bildern

- Vergleich zwischen zwei Bildern *I* und *R* ist im Prinzip sehr einfach durch Pixel-Vergleich möglich.
- Probleme durch Bildveränderungen, die vom Menschen nicht wahrgenommen werden können, die aber große zahlenmäßige Unterschiede hervorrufen.
  Z.B. minimale Verschiebungen, Rotationen, Helligkeitsänderungen

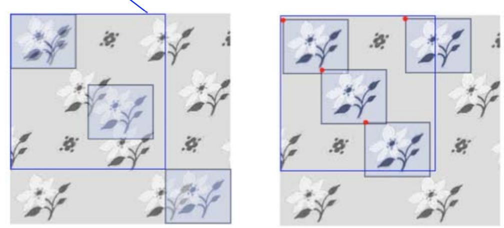
Template Matching

Bild I Template R

Suche nach den Positionen, an denen das Template zu finden ist.

Template Matching

Suchbereich



Suche nach den Positionen, an denen das Template zu finden ist.

Abstandsmaße zwischen Bildmustern

- Summe der Differenzbeträge $$d_A = \sum_{(i,j)\in R} \left| I(x+i, y+j) - R(i,j) \right|$$
- Maximaler Differenzbetrag $$d_M = \max_{(i,j)\in R} \left| I(x+i, y+j) - R(i,j) \right|$$
- Euklidischer Abstand (Wurzel aus Summe der quadratischen Abstände) $$d_E = \left(\sum_{(i,j)\in R} \left(I(x+i, y+j) - R(i,j) \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

Abstand und Korrelation

$$d_E^2 = \sum_{(i,j)\in R} \left(I(x+i, y+j) - R(i,j) \right)^2$$

$$= \underbrace{\sum_{(i,j)\in R} I(x+i, y+j)^2}_{A(x,y)} + \underbrace{\sum_{(i,j)\in R} R(i,j)^2}_{B} - 2 \underbrace{\sum_{(i,j)\in R} I(x+i, y+j) \cdot R(i,j)}_{C(x,y)}$$

- $A(x,y)$ = Summe der Quadrate des Bildausschnitts
- B = Summe der Quadrate des Templates (konstant)
- $C(x,y)$ = (lineare) Kreuzkorrelation

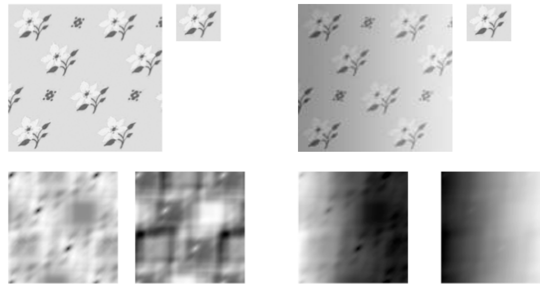
Abstand und Korrelation

$$d_E^2 = \underbrace{\sum_{(i,j)\in R} I(x+i,y+j)^2}_{A(x,y)} + \underbrace{\sum_{(i,j)\in R} R(i,j)^2}_{B} - 2\underbrace{\sum_{(i,j)\in R} I(x+i,y+j)\cdot R(i,j)}_{C(x,y)}$$

B ist konstant. Wenn $A(x,y)$ näherungsweise konstant ist, dann entspricht das Minimum von d_E^2 dem Maximum von $C(x,y)$.

$C(x,y)$ entspricht Faltung von I und R $\quad C = I * R$
=> schnelle Berechnung im Frequenzbereich möglich
Problem: Typischerweise ist $A(x,y)$ nicht konstant!

Probleme bei Intensitätsunterschieden



d^2 $\quad C \quad$ d^2 $\quad C$

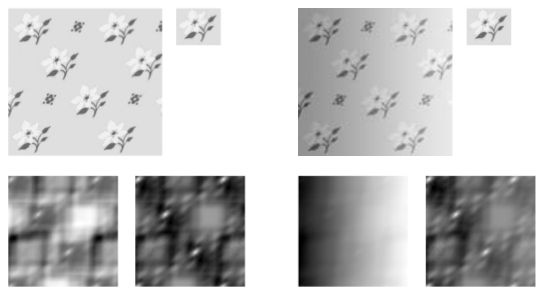
Normalisierte Kreuzkorrelation

$$C_N(x,y) = \frac{C(x,y)}{\sqrt{A(x,y)\cdot B}} = \frac{C(x,y)}{\sqrt{A(x,y)}\cdot\sqrt{B}} \qquad 0 \le C_N \le 1$$

$$= \frac{\sum_{(i,j)\in R} I(x+i,y+j)\cdot R(i,j)}{\left(\sum_{(i,j)\in R} I(x+i,y+j)^2\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\sum_{(i,j)\in R} R(i,j)^2\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Normierung der Kreuzkorrelation auf die Gesamtenergie im Bildausschnitt

Vergleich normalisierte Kreuzkorrelation



C $\quad C_N \quad$ C $\quad C_N$

Korrelationskoeffizient

Bestimmung der Korrelation nur für den dynamischen Anteil des Bildausschnittes

$$r(x,y) = \frac{\sum_{(i,j)\in R} \left(I(x+i,y+j) - \bar{I}(x,y)\right)\cdot\left(R(i,j) - \bar{R}\right)}{\left(\sum_{(i,j)\in R} \left(I(x+i,y+j) - \bar{I}(x,y)\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\sum_{(i,j)\in R} \left(R(i,j) - \bar{R}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$\bar{I}(x,y) = \frac{1}{K}\sum_{(i,j)\in R} I(x+i,y+j) \qquad \bar{R} = \frac{1}{K}\sum_{(i,j)\in R} R(i,j) \qquad K = |R|$$

$$-1 \le r \le 1$$

$\bar{I}(x,y) =$ Mittelwert des Bildauschnitts
$\bar{R} =$ Mittelwert des Templates $\quad K =$ Pixelanzahl des Templates

Korrelationskoeffizient

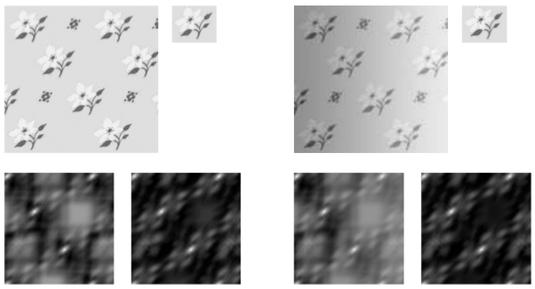
$$mit \;\; \sigma_R^2 = \frac{1}{|R|}\sum_{(i,j)\in R}\left(R(i,j) - \bar{R}\right)^2 \qquad und \;\; C_{IR} = \frac{1}{|R|}\sum_{n\in R}\left(I(n) - \bar{I}\right)\left(R(n) - \bar{R}\right)$$

$$r(x,y) = \frac{\sum_{(i,j)\in R} \left(I(x+i,y+j) - \bar{I}(x,y)\right)\cdot\left(R(i,j) - \bar{R}\right)}{\left(\sum_{(i,j)\in R} \left(I(x+i,y+j) - \bar{I}(x,y)\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\sum_{(i,j)\in R} \left(R(i,j) - \bar{R}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$r(x,y) = \frac{\sum_{(i,j)\in R} \left(I(x+i,y+j)\cdot R(i,j)\right) \; - \; \bar{I}(x,y)\bar{R}}{|R|\cdot\sigma_I(x,y)\cdot\sigma_R}$$

$$r(x,y) = \frac{C_{IR}(x,y)}{\sigma_I(x,y)\cdot\sigma_R}$$

Vergleich Korrelationskoeffizient



C_N r C_N r

Mittelwert

$$\bar{R} = \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} R(n)$$

$|R|$ = die Größe der Region R

wird auch mit

μ_R bzw. $E(R)$

bezeichnet

Varianz

$$\begin{aligned}
\sigma^2 &= \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} \left[R(n) - \bar{R} \right]^2 \\
&= \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} \left[R(n)^2 - 2R(n)\bar{R} + \bar{R}^2 \right] \\
&= \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} R(n)^2 - 2\bar{R} \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} R(n) + \bar{R}^2 \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} 1 \\
&= \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} R(n)^2 - 2\bar{R}\bar{R} + \bar{R}^2 \\
&= \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} R(n)^2 - \bar{R}^2
\end{aligned}$$

Covarianz

$$\begin{aligned}
C_{IR} &= \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} \left(I(n) - \bar{I} \right)\left(R(n) - \bar{R} \right) \\
&= \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} \left(I(n)R(n) - I(n)\bar{R} - \bar{I}R(n) + \bar{I}\bar{R} \right) \\
&= \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} I(n)R(n) - \bar{R} \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} I(n) - \bar{I} \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} R(n) + \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} \bar{I}\bar{R} \\
&= \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} I(n)R(n) - \bar{R}\bar{I} - \bar{I}\bar{R} + \bar{I}\bar{R} \\
&= \frac{1}{|R|} \sum_{n \in R} I(n)R(n) - \bar{I}\bar{R}
\end{aligned}$$

$$mit \sum_{(i,j) \in R} \left(R(i,j) - \bar{R} \right)^2 = \sum_{(i,j) \in R} R(i,j)^2 - |R|\bar{R}^2$$

$$und \sum_{n \in R} \left(I(n) - \bar{I} \right)\left(R(n) - \bar{R} \right) = \sum_{n \in R} I(n)R(n) - |R|\bar{I}\bar{R}$$

$$r(x,y) = \frac{\sum_{(i,j) \in R} \left(I(x+i, y+j) - \bar{I}(x,y) \right) \cdot \left(R(i,j) - \bar{R} \right)}{\left(\sum_{(i,j) \in R} \left(I(x+i, y+j) - \bar{I}(x,y) \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\sum_{(i,j) \in R} \left(R(i,j) - \bar{R} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$= \frac{\sum_{(i,j) \in R} \left(I(x+i, y+j) \cdot R(i,j) \right) - |R| \cdot \bar{I}(x,y)\bar{R}}{\left(\sum_{(i,j) \in R} \left(I(x+i, y+j) \right)^2 - |R| \cdot \bar{I}(x,y)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\sum_{(i,j) \in R} R(i,j)^2 - |R|\bar{R}^2 \right)^{\frac{1}{2}}}$$

Vereinfachte Berechnung (nur ein Durchgang)

$$r(x,y) = \frac{\sum_{(i,j) \in R} \left(I(x+i, y+j) \cdot R(i,j) \right) - |R| \cdot \bar{I}(x,y)\bar{R}}{\left(\sum_{(i,j) \in R} \left(I(x+i, y+j) \right)^2 - |R| \cdot \bar{I}(x,y)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \underbrace{\left(\sum_{(i,j) \in R} R(i,j)^2 - |R|\bar{R}^2 \right)^{\frac{1}{2}}}_{\sigma'_R}}$$

```
// sigmaR = (float) Math.sqrt(sumR2 - nR * meanR * meanR);

double getCorrCoef(int x, int y) {
    double sumI = 0, sumI2 = 0, sumIR = 0;
    for (int j=0; j<hR; j++){
        for (int i=0; i<wR; i++){
            float vI = I.get(x+i,y+j);
            float vR = R.get(i,j);
            sumI  += vI;
            sumI2 += vI * vI;
            sumIR += vI * vR;
        }
    }
    double meanI = sumI / nR;

    return (sumIR - nR * meanI * meanR) / (Math.sqrt(sumI2 - nR * meanI*meanI) * sigmaR);
}
```