

Datenbankaspekte der Bildsuche: Effizienz, Interaktion und Evaluierung

Vorlesung Bildverarbeitung 2, Teil 6
Wintersemester 2001/2002
Ullrich Köthe, FB Informatik, Uni Hamburg

Beschleunigung der Suche in Bilddatenbanken (1)

Grundproblem: traditionelle Ansätze für effiziente Suche versagen bei Nachbarschaftssuche in hochdimensionalen Räumen (Speicherkomplexität noch schlimmer)

– lineare Suche:

$O(k m)$ m ...Anzahl der Objekte, k ...Dimension

– Verallgemeinerung des Binärbaumes auf k Dimensionen
(abwechselnde Teilung aller Achsen)

$O(2^k \log(m))$ nur effizienter als lineare Suche solange $k < \log(m)$

– kD -Baum: Auswahl der zu teilenden Achse wie bei *median cut*

$O(k m)$

– *random sampling* Algorithmus (Meiser '93):

$O(k^5 \log(m))$

Beschleunigung der Suche in Bilddatenbanken (2)

- **genauere Analyse: Suchzeit hängt ab von:**
 - Anzahl der Vergleiche N_V und Zeit pro Vergleich t_V
 - Anzahl der linearen Speicherzugriffe N_L und Zeit pro Zugriff t_L
 - Anzahl der *random* Speicherzugriffe N_R und Zeit pro Zugriff t_R
 - falls Daten auf Festplatte (große Datenbank): $t_R \sim 8 t_L \dots 10 t_L$,
falls im Speicher $t_R \sim 2 t_L \dots 4 t_L$
 - **falls t_V dominiert: Verfahren ist effizient, wenn es Anfragebild nicht mit allen Datenbankbildern vergleicht (aber berücksichtige konstanten Faktor!)**
 - **falls Speicherzugriffszeit dominiert: effizientes Verfahren darf maximal 10% bzw. 30% der Seiten lesen**
- ⇒ **optimierte Baumstrukturen maximal bis ca. 10D**

Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.3

Beschleunigung der Suche in Bilddatenbanken (3)

- **zur Zeit aussichtsreichster Kandidat für schnelle Suche: Clustering der Daten**
 - lineare Suche nach richtigem Cluster
 - lineare Suche im richtigen Cluster
 - möglichst Clusterhierarchie
- **Beschleunigung der linearen Suche:**
 - falls Distanzberechnung aufwendig (z.B. *earth mover distance*):
 - Definition einer schnell zu berechnenden Approximation, die die eigentliche Distanz unterschätzt
 - keine Distanzberechnung, falls $d_{\text{approx}} > \text{current-}d_{\text{min}}$
- **lineare Suche funktioniert auch, wenn Distanz entsprechend der Aufgabe modifiziert wird (Gewichte), aber komplexe Indexstrukturen lassen dies nicht zu**

Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.4

Beschleunigung der Suche in Bilddatenbanken (4)

andererseits:

- **Laufzeitschranken der Baumstrukturen sind *worst case bounds***
 - der schlechteste Fall tritt typischerweise auf, wenn die NN-Anfrage instabil, also ohnehin fragwürdig ist
 - Verbesserung möglich, wenn realistische Verteilungen verwendet
 - **Range Queries sind einfacher (sublineare Indizes)**
 - Suche Bilder, die höchstens δ von der Anfrage entfernt sind
 - aber: wie wählt man δ günstig?
 - **näherungsweise NN-Anfragen sind einfacher (sublineare Indizes)**
- ⇒ **notwendig: besseres Verständnis der Daten und der Nutzeranforderungen in realistischen Anwendungen**

Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.5

Kombination mehrerer Distanzen (1)

- **oft besteht die Ähnlichkeitsfunktion aus mehreren unabhängigen Komponenten, z.B. Farbhistogramm, Textursignatur, Richtungshistogramm etc.**
 - ⇒ **Kombination zu einer Distanz notwendig**
 - ⇒ **Einzeldistanzen müssen vergleichbar gemacht werden (Normierung)**
- **Möglichkeit 1: Benutzung der Rangordnung**
 - suche in jeder Komponente unabhängig, ordne die Antworten
 - erstelle die kombinierte Rangordnung aufgrund des mittleren Rangs jedes Bildes über alle Teildistanzen:

$$d_{combined}(x_i, q) = \sum_k \text{rang}(d_k(x_i, q))$$

Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.6

Kombination mehrerer Distanzen (2)

- **Möglichkeit 2:** gewichtete Summe der Einzeldistanzen

$$d_{combined}(x_i, q) = \sum_k w_k d_k(x_i, q)$$

- Standardgewichte: $E[w_k d_k(x_i, x_m)]$ für alle Komponenten konstant

- **Möglichkeit 3:** Umrechnung der Distanzen in Wahrscheinlichkeiten (gelernt aus Trainingsdaten)

- Wahrscheinlichkeit, daß x_i und q bezügl. k ähnlich sind, z.B.:

$$p_{\text{ähnlich},k}(x_i, q) = e^{-d_k(x_i, q)^{B_k} / \sigma_k^{B_k}}, \quad B_k, \sigma_k : \text{Parameter}$$

- Kombination: probabilistisches „und“ bzw. „oder“

$$p_{\text{ähnlich}}(x_i, q) = \prod_k p_{\text{ähnlich},k}(x_i, q)$$

$$p_{\text{ähnlich}}(x_i, q) = 1 - \prod_k (1 - p_{\text{ähnlich},k}(x_i, q))$$

Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.7

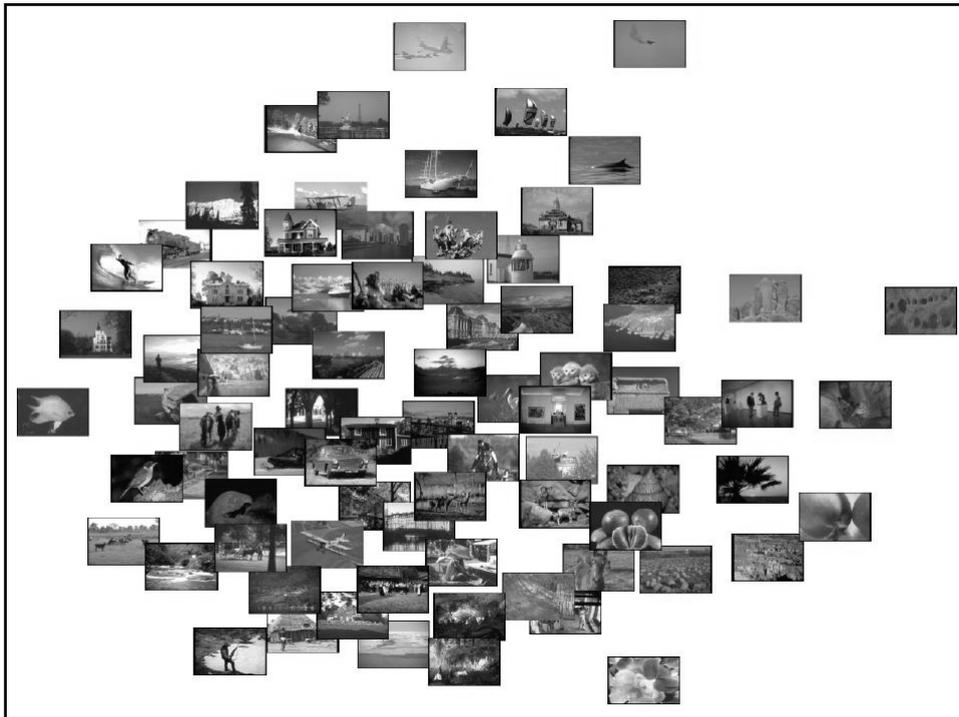
Optimale Präsentation der Suchergebnisse (1)

- **üblich: Präsentation der k ähnlichsten Bilder entsprechend ihrer Rangordnung**
 - Vorteil: gut passende Bilder fallen oft sofort ins Auge
 - Nachteil: Bilder, die sich untereinander ähneln, sind nicht unbedingt nebeneinander
- **Alternative: berücksichtige gegenseitige Ähnlichkeit bei der Präsentation**
 - distanzerhaltende Dimensionsreduktion für die ersten k Bilder auf 2 Dimensionen
 - Präsentation im neuen Koordinatensystem – „*star field display*“
 - Benutzer bevorzugen geordnete Präsentation in den meisten Fällen (aber manchmal „Maskierung“ der besten Antwort)

Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.8



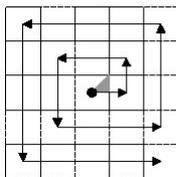
Optimale Präsentation der Suchergebnisse (2)

- **Bestimmung der 2D-Koordinaten:**
 - *multi-dimensional scaling*
 - FastMap-Algorithmus (müßte für Präsentationszwecke reichen, aber keine systematischen Untersuchungen)
 - wenn Distanz aus mehreren Komponenten zusammengesetzt ist, benutze die zwei wichtigsten Komponenten als Achsen, z.B. Farbähnlichkeit vs. Texturähnlichkeit oder Farbähnlichkeit vs. Richtungshistogramm
- **Problem: Thumbnails sind relativ groß ⇒ meist treten Überlappungen auf**
 - Verdeckung stört sehr
 - Verschiebung der Bilder notwendig, so daß Überlappung minimiert oder ausgeschlossen wird

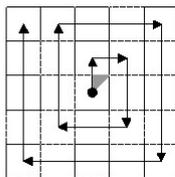


Optimale Präsentation der Suchergebnisse (3)

- **drei Ansätze für überlappungsfreie Darstellung des *star field display*:**
 - Lösung des multi-dimensional scaling Problems mit der Nebenbedingung, daß nur ganzzahlige Koordinaten erlaubt sind ... schwierig
 - siehe vorige Seite: ordne Objekt der nächstgelegenen Zelle zu; Konfliktlösung ähnlich wie beim Hashing: falls beste Zelle besetzt, wähle die nächstbeste usw.

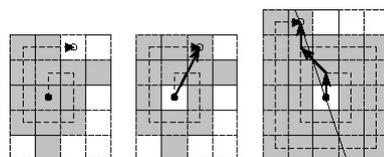


Wintersemester 01/02



Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

Varianten der Konfliktlösung

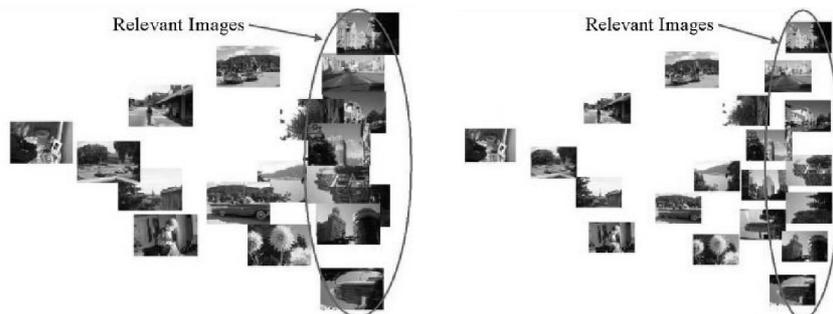


6.12

Optimale Präsentation der Suchergebnisse (4)

- Verschieben und Verkleinern der Thumbnails: Optimieren einer Zielfunktion, die Überlappung und Verschiebung gegeneinander wichtet, so daß Minimalgröße nicht unterschritten wird:

$$\text{minimiere } J = \text{overlap}(p) + \lambda \text{ translation}(p)$$



Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.13

Relevanz-Feedback (1)

- **Wie kann man die Suche an die aktuelle Aufgabe anpassen?**
 - Problem: Übersetzung von abstrakten Konzepten in Steuerparameter für die Bildanalyse ist schwierig/unmöglich
 - ⇒ System muß günstige Einstellungen durch Feedback lernen
- **Idee des Relevanz-Feedback:**
 - Präsentation einer ersten Antwortmenge
 - Markieren relevanter/irrelevanter Bilder durch den Benutzer
 - automatische Modifikation der Ähnlichkeitsfunktion
 - Präsentation eines neuen Suchergebnisses
 - Iteration bis der Benutzer das gesuchte Bild findet

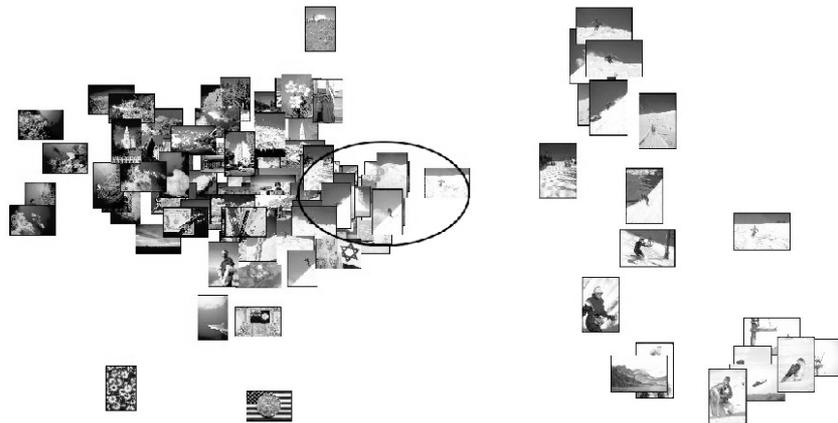
Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.14

Relevanz-Feedback (2)

„star field display“ hilft bei der Auswahl relevanter Bilder



Wintersemester 01/02

Ulrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.15

Relevanz-Feedback (3)

- **zwei Strategien**
 - Modifikation der Ähnlichkeitsfunktion
 - Modifikation der Anfrage
- **einfachste Realisierung:**
 - wenn die Ähnlichkeitsfunktion eine gewichtete Summe aus verschiedenen Teilen ist \Rightarrow Anpassen der Gewichte

$$d(x_i, q) = \sum_{k=1}^K r_k w_k d_k(x_i, q) \quad \begin{array}{l} r_k: \text{Relevanzgewichte} \\ w_k: \text{Normierung} \end{array}$$

- setze zunächst $r_k=1/K$ (gleiche Gewichtung aller Verfahren)
- betrachte die ersten N Bilder, die jedes Verfahren zurückliefert:

$$RT_k^{(t)} = \{B_1, \dots, B_N\}_k^{(t)} \quad t: \text{Nummer der aktuellen Iteration}$$

Wintersemester 01/02

Ulrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.16

Relevanz-Feedback (4)

– Aktualisierung der Gewichte nach Rui et al.:

$$score(B) = \begin{cases} 3 & \text{wenn } B \text{ sehr relevant} \\ 1 & \text{wenn } B \text{ relevant} \\ 0 & \text{wenn keine Angabe zu } B \\ -1 & \text{wenn } B \text{ irrelevant} \\ -3 & \text{wenn } B \text{ total irrelevant} \end{cases}$$

$$r_k' = r_k^{(t)} + \sum_{B \in RT_k^{(t)}} score(B)$$

$$r_k^{(t+1)} = \frac{r_k'}{\sum_i r_i'}$$

Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.17

Relevanz-Feedback (5)

– Aktualisierung der Gewichte nach Aksoy et al.:

Varianz von Merkmal k im Antwortset der Iteration t :

$$(\sigma_k^{(t)})^2 = E[(Feature_k)^2]^{(t)} - (E[Feature_k]^{(t)})^2$$

analog Varianz von Merkmal k für die relevanten Bilder:

$$(\sigma_{k, \text{relevant}}^{(t)})^2 = E[(Feature_{k, \text{relevant}})^2]^{(t)} - (E[Feature_{k, \text{relevant}}]^{(t)})^2$$

$$r_k' = \frac{\sigma_k^{(0)}}{\sigma_{k, \text{relevant}}^{(t)}}, \quad r_k^{(t+1)} = \frac{r_k'}{\sum_k r_k'}$$

– r_k ist groß, wenn σ_k groß und $\sigma_{k, \text{relevant}}$ klein

Wintersemester 01/02

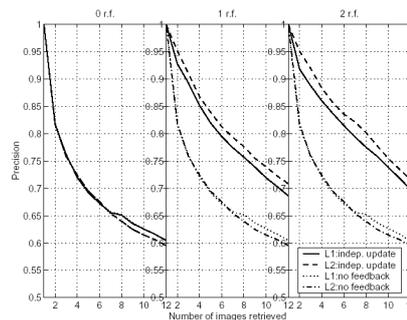
Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.18

Relevanz-Feedback (6)

- **Verbesserung der Verfahren:**
 - nicht nur die Verfahren variabel gewichten, sondern auch die Summanden innerhalb jedes Verfahrens
 - Menge der relevanten Bilder über alle Iterationen akkumulieren
- **Ergebnisse nach 2 Iterationen: ca. 20% höhere precision**

Distance	0 rf	1 rf	2 rf
\bar{L}_1	0.60	0.69 (13.53%)	0.70 (1.71%)
L_2	0.60	0.71 (19.03%)	0.72 (1.06%)



Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.19

Relevanz-Feedback (7)

- **Bestimmung optimaler Gewichte:**
 - Fisher's Lineare Diskriminanten: maximale Klassentrennung
 - 2 Klassen: relevant und irrelevant mit bekannter Zuordnung

Vektor der Antworten der Verfahren für Bild i

$$\bar{x}_i = [x_1, \dots, x_K]_i \quad (x_k: \text{Merkmale oder Distanzen})$$

$\bar{\mu}_{\text{relevant}}, \bar{\mu}_{\text{irrelevant}}$: Klassenmittelwerte

$$S_W = \sum_{i \in \text{relevant}} (\bar{x}_i - \bar{\mu}_{\text{relevant}})(\bar{x}_i - \bar{\mu}_{\text{relevant}})^T + \sum_{i \in \text{irrelevant}} (\bar{x}_i - \bar{\mu}_{\text{irrelevant}})(\bar{x}_i - \bar{\mu}_{\text{irrelevant}})^T$$

$$\bar{r} = S_W^{-1}(\bar{\mu}_{\text{relevant}} - \bar{\mu}_{\text{irrelevant}})$$

- **andere Klassifikatoren möglich (z.B. Support Vector Machines)**

Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.20

Relevanz-Feedback (8)

- **Ändern der Query:**

- *Multipoint Query*: betrachte alle relevanten Bilder als Anfrage

$$d_{combined}(B)^\alpha = \begin{cases} 0 & \text{wenn } \alpha < 0 \text{ und } \exists i : d(B, B_i) = 0 \\ \frac{1}{N_{relevant}} \sum_{i=1}^{N_{relevant}} d_k(B, B_i)^\alpha & \text{sonst} \end{cases}$$

- falls $\alpha > 0$: fuzzy „und“, $\alpha < 0$: fuzzy „oder“
- *Query Point Movement*: neue Anfrage als Mittelwert der relevanten Bilder (auch in Verbindung mit Merkmalsgewichten)

$\vec{x}_i = [x_1, \dots, x_K]_i$ Merkmalsvektor von Bild i

$$\vec{q}^{(t+1)} = \frac{1}{N_{relevant}} \sum_{i \in relevant} \vec{x}_i$$

Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.21

Filter Image Browsing

- **Beobachtung:** nach der ersten Iteration ist ein großer Teil der Datenbank unerreichbar \Rightarrow Feedback nützt nichts, wenn relevante Bilder dort enthalten

\Rightarrow **begrenze den Prozentsatz der Bilder, der in einer Iteration unerreichbar werden kann (Vendrig et al.)**

1. definiere Reduktionsfaktor $\varrho = 0.25$ (laut Paper)
2. wähle $RT^{(0)}$ so, daß gesamte Datenbank erreichbar (falls die originale Antwort dies nicht gewährleistet, füge Bilder hinzu)
3. setze $Covering^{(t+1)} = \varrho \cdot Covering^{(t)}$
4. bestimme $RT^{(t+1)}$ durch *Multipoint Query* mit relevanten Bildern
5. wenn aus $RT^{(t+1)}$ weniger als $Covering^{(t+1)}$ erreichbar ist, füge Bilder hinzu, dann gehe zu 3.

- **recall um 20% erhöht**

Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.22

Evaluierung der Bildsuche (1)

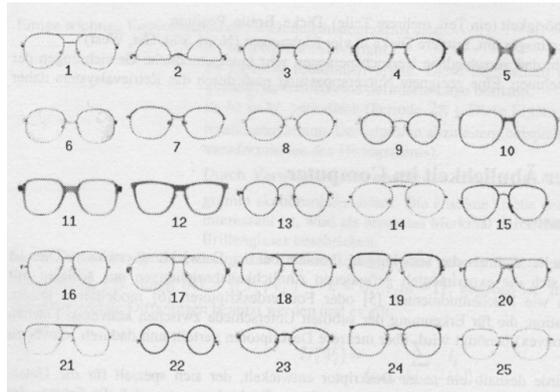
- **Evaluierung ist schwierig, weil die Bedeutung des Bildes (und damit die Ähnlichkeitsfunktion) von der Aufgabe und vom Kontext abhängt**
- **welche Datenbank verwendet man?**
 - Corel-Bildersammlung:
 - mehrere 10000 Farbbilder hoher Qualität
 - starke Clusterung (100 Bilder pro Thema), Copyrightprobleme
 - spezielle Bildarchive:
 - Pressearchive, medizinische Archive, Kunstgeschichte
 - gut, aber keine Vergleichsmöglichkeit
 - freie Bildsammlungen (z.B. VisTex, U Washington): relativ klein (<1000) und relativ speziell (z.B. Texturen)

Evaluierung der Bildsuche (2)

- **wie definiere ich das erwartete Ergebnis?**
 - benötige realistisches Anwendungsszenarium
 - psychologische Experimente im Kontext eines Szenariums
 - ist CBR besser als herkömmliche Verfahren? (Geschwindigkeit und Recall im Vergleich zu Schlagwortsuche und Browsing)
 - wenig bekannt über die tatsächlichen Bedürfnisse der Nutzer
 - experimentelle Bestimmung des menschlichen Ähnlichkeitsempfindens
 - wie ordnen Nutzer die Bilder relativ zu einem Anfragebild?
 - wie stark hängt die Ordnung von der Aufgabe ab?
 - wie stark schwankt sie von Person zu Person und während verschiedener Sitzungen?

Evaluierung der Bildsuche (3)

- **Beispiel: Brillendatenbank**
 - welche Merkmale sind wichtig?



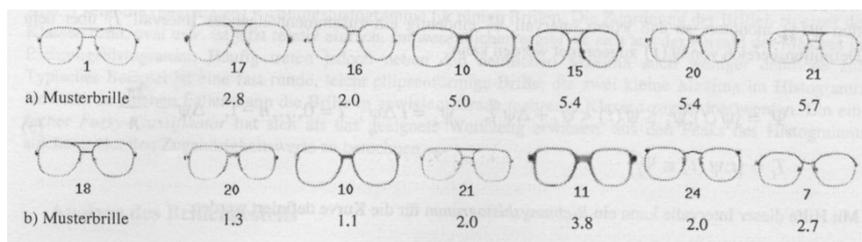
Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: *Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken*

6.25

Evaluierung der Bildsuche (4)

- **Formähnlichkeit:**
 - nicht rotationsinvariant
 - wichtig: Anzahl und Lage der „Ecken“, Rundung
 - extreme Standardabweichung des Ranges bei der Bewertung durch verschiedene Personen (bis 5 Positionen!)



Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: *Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken*

6.26

Evaluierung der Bildsuche (5)

- **umfassendes, anwendungszentriertes Konzept der Bewertung: Pressearchive (Markkula, Sormonen '00)**
- **Bestimmung von *ground truth*:**
 - Aufgabe: Suche Bild, das einen vorgegebenen Artikel illustriert
 - Entwicklung einer Illustrationsidee
 - Auswahl eines passenden Bildes mit herkömmlichen Mitteln
 - Zusammenstellen einer zugehörigen „thematischen Sammlung“ mit herkömmlichen Mitteln (z.B. „Kosovoflüchtlinge“)
 - Klassifikation der Sammlung in „ähnliche“ und „unähnliche“ bezüglich des Kernbildes durch mehrere VP
 - Aufstellen einer Kriterienliste für jede Bewertung

Evaluierung der Bildsuche (6)

- **Ergebnis: Menge von Musteranfragen**
 - Photodatenbank mit 50000 Bildern, daraus:
 - 45 thematische Sammlungen mit je 60-400 Bildern
 - je 1-25 sind als zum Kernbild ähnlich klassifiziert (Mittel: 5)
 - menschliche Ähnlichkeitskriterien:
 - low-level (Farbe, Komposition, Blickwinkel, Entfernung, ...)
 - intermediate (Objektyp, Objektname, Ort, Aktion, ...)
 - high-level (Atmosphäre, Gefühlsausdruck, Symbol, Konzept)
 - Konsistenz der Ähnlichkeitsmenge für verschiedene VP:
 - mit Berücksichtigung der Aufgabe 60% (16%-94%)
 - ohne Berücksichtigung der Aufgabe 48% (0%-88%)

Evaluierung der Bildsuche (7)

- **Wie soll die Performance beschrieben werden?**

- Rang des ersten korrekten Bildes
- durchschnittlicher Rang der korrekten Bilder (normiert)
- Precision: $precision = \frac{|relevant \cap retrieved|}{|retrieved|}$

- Precision bei Größe 20, 50, Gesamtzahl relevant
- average Precision: mißt Precision, wenn ein weiteres korrektes Bild angezeigt wird und mittelt diese Werte

- Recall: $recall = \frac{|relevant \cap retrieved|}{|relevant|}$

- Recall für Precision 0.5 und für 100 Antwortbilder

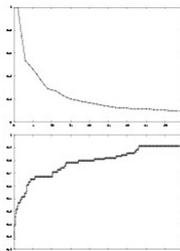
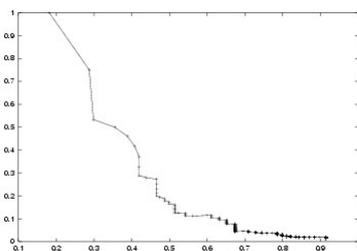
- Precision/Recall-Graph

Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.29

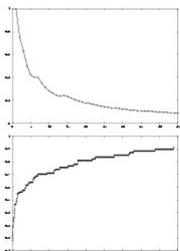
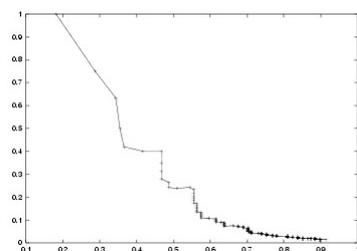
Evaluierung der Bildsuche (8)



**Precision,
Recall und PR-
Graphen aus
dem Projekt**

LUV

Cooccurrence



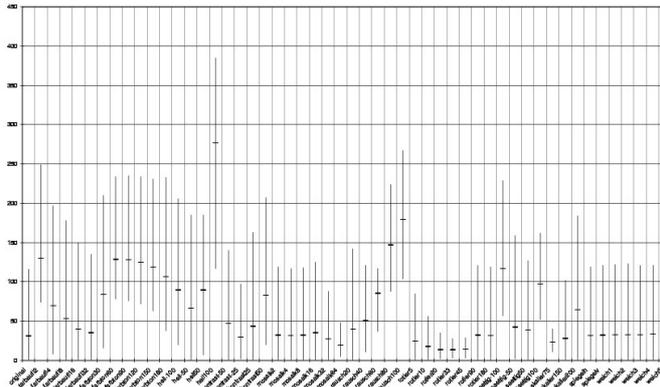
itenbanken

6.30

Evaluierung der Bildsuche (9)

Messung der Veränderung von precision und recall für bestimmte Bildstörungen, Vergleich der Verfahren

Luv-Farb-
histogramm
robust gegen
Rauschen,
geometrische
Transformationen, aber
anfällig für
Farbver-
schiebungen



Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.31

Evaluierung der Bildsuche (10)

- **Ergebnisse der Pressearchivstudie**
 - Excalibur und ein eigenes System wurden getestet
 - gemessen average Rank (ca. 50), average Precision (ca. 20%) und weitere Maße
 - Ergebnis:
 - Bildsuche war signifikant besser als zufällige Sortierung
 - low-level Merkmale sind mit menschlicher Ähnlichkeitsbewertung korreliert
 - Aspektverhältnis der Bilder ist überraschend wichtig
 - keine Parameterkombination war für alle Beispiele die beste
- ⇒ Notwendigkeit des Relevance Feedback

Wintersemester 01/02

Ullrich Köthe: Inhaltsorientierte Suche in Bilddatenbanken

6.32

Evaluierung der Bildsuche (11)

Evaluierung des Relevanz-Feedback (La Cascia et al.):

- Datenbank mit automatisch extrahierten Schlüsselwörtern (WWW), Farbhistogrammen, Richtungshistogrammen
- die besten 100 Antworten werden jeweils angezeigt
- Generierung der „Page 0“ durch Schlüsselwortsuche
- weitere Suche durch Relevanz-Feedback (maximal 4 Iterationen)
- **Aufgabe: Finden eines vorgegeben Bildes (das nicht selbst als Anfragebild verwendet werden darf)**
- **Ergebnis:**
 - Datenbankgröße 10 000: 35% der Testbilder konnten gefunden werden, bei Größe 100 000 nur noch 18% (in 4 Iterationen)
 - durchschnittlich wurden 2 Iterationen benötigt
 - ohne Relevance-Feedback wurden nur 20% bzw. 9% gefunden