

Multimedia Retrieval

3 Fundamentals of Multimedia Retrieval

Prof. Dr. Marcin Grzegorzek

Research Group for Pattern Recognition
www.pr.informatik.uni-siegen.de

Institute for Vision and Graphics
University of Siegen, Germany



Table of Contents

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit

1 Introduction

- 1.1 Fundamental Concept
- 1.2 Search in a MMDBS
- 1.3 Applications of MMDBMS

2 Fundamentals of Information Retrieval

- 2.1 Introduction
- 2.2 Information Retrieval Models
- 2.3 Relevance Feedback
- 2.4 Evaluation of Retrieval Systems
- 2.5 User Profiles

Table of Contents

► 3 Fundamentals of Multimedia Retrieval

- 3.1 Characteristics of MM Management and Retrieval
- 3.2 Processing Pipeline of a Multimedia Retrieval Systems
- 3.3 Data of a Multimedia Retrieval System
- 3.4 Features
- 3.5 Applicability of Different Retrieval Models
- 3.6 Multimedia Similarity Model

4 Transforms for Feature Extraction

- 4.1 Fourier Transform
- 4.2 Wavelet Transform
- 4.3 Principal Component Analysis
- 4.4 Singular Value Decomposition

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit

Table of Contents

5 Distance Functions

- 5.1 Properties and Classification
- 5.2 Distance Functions for Points
- 5.3 Distance Functions for Binary Data
- 5.4 Distance Functions for Sequences
- 5.5 Distance Functions for Sets

6 Similarity Measures

- 6.1 Introduction
- 6.2 Distance versus Similarity
- 6.3 Range of Similarity Measures
- 6.4 Concrete Similarity Measures
- 6.5 Aggregation of Similarity Values
- 6.6 Conversion of Distances into Similarity Values
- 6.7 Partial Similarity

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

Table of Contents

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

7 Efficient Algorithms and Data Structures

7.1 High-Dimensional Index Structures

7.2 Algorithms for Aggregation of Similarity Values

8 Query Processing

8.1 Introduction

8.2 Concepts of Query Processing

8.3 Database Model

8.4 Languages

9. Summary and Conclusions

Overview

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit

- 1 Besonderheiten der Verwaltung und des Retrievals
- 2 Ablauf des Multimedia-Information-Retrievals
- 3 Daten eines Multimedia-Retrieval-Systems
- 4 Feature
- 5 Eignung verschiedener Retrieval-Modelle
- 6 Multimedia-Ähnlichkeitsmodell

Overview

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

- 1 Besonderheiten der Verwaltung und des Retrievals
- 2 Ablauf des Multimedia-Information-Retrievals
- 3 Daten eines Multimedia-Retrieval-Systems
- 4 Feature
- 5 Eignung verschiedener Retrieval-Modelle
- 6 Multimedia-Ähnlichkeitsmodell

Verwaltung und Retrieval von MM-Daten

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit

Im Vergleich zu Text-Dokumenten weisen MM-Objekte eine Reihe von Besonderheiten auf:

- *Datenvolumen*: großer Speicherbedarf (z. B. Video-Objekte)
- *implizite Semantik*: nutzerrelevante Semantik implizit in Medien-Objekten
- *Heterogenität*: viele Medien-Typen und Speicherformate
- *komplexe MM-Objekte*: Kombination verschiedener Medien-Typen, Referenzen und Einbettung
- *Ein- und Ausgabegeräte*: Geräte für Datenimport und Darstellung

Datenvolumen

- Reduzierung des Datenvolumens durch Komprimierung (verlustfrei versus verlustbehaftet)
- schnelle Algorithmen für Vorverarbeitung der Medien-Objekte und Ähnlichkeitsberechnung
- zeitkritische Medien-Typen erfordern ausgeklügelte Ressourcen-Verwaltung
- kompakte Präsentation (etwa thumbnails)

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

Implizite Semantik

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit

- nutzerrelevante Semantik ist häufig nicht explizit (z. B. Bildobjekte implizit in Pixeldaten)
- Extraktion von Feature-Werten nötig zur expliziten Quantisierung bestimmter Eigenschaften
- Feature-Extraktionsalgorithmen isolieren semantiktragende Eigenschaften aus Medien-Objekten
- Problem: Semantik ist subjektiv (z. B. Rasterbilder: ein Nutzer interessiert für Gebäude, der andere für Personen)
- Ideal: exakte, objektive, semantikunterstützende Feature-Extraktion

Heterogenität

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit

- unterschiedliche Medien-Typen und Speicherformate erfordern unterschiedliche Feature-Extraktion und Ähnlichkeitsbestimmung
- System muss Erweiterung um neue Typen und Formate ermöglichen
- Datenunabhängigkeit: medientyp- und speicherunabhängige Anfragen (z. B. zeige alle Medien-Objekte zu einer Person an)
- Medien-Umsetzung: etwa Umwandlung Text in Audio
- Speicherformatumwandlung
- spezielle Metadaten bzgl. Medien-Typ und Speicherformat notwendig

Komplexe Multimedia-Objekte

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

- komplexes Medien-Objekt: enthält mehrere, eigenständige Medien-Objekte
- Aggregation durch Referenzierung und Einbettung
- für Verwaltung: Zerlegung in nichtkomplexe Medien-Objekte und Strukturdaten
- Verwaltung von Strukturdaten zur Rekonstruktion und Retrieval
- Aggregation aufgrund Segmentierung

Ein- und Ausgabegeräte

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

- Abhängigkeit von Medien-Typ und Speicherformat
(Bild → Bildschirm, Ton → Lautsprecher, ...)
- System muss Geräte des Nutzers kennen
- System verwendet Profil zur
 - Unterstützung der Anfrageformulierung
 - garantieren Darstellbarkeit von Anfrageergebnissen
 - Optimierung: Reduzierung benötigter Ressourcen etwa Netzwerkbandbreite

Besonderheiten - Zusammenfassung

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

Besonderheiten	Herausforderungen
Datenvolumen	Komprimierung kompakte, interne Darstellung schnelle Ähnlichkeitsberechnung Resourcenverwaltung kompakte Präsentation
implizite Semantik	Feature-Extraktion Subjektivität Ungenauigkeit Anfrageformulierung

Besonderheiten - Zusammenfassung

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit

	Heterogenität	Medien-Typen und Speicherformate Medien-Typunabhängigkeit und Medien-Umsetzung Speicherformatunabhängigkeit und Speicherformatumwandlung Metadaten zur Interpretation
	komplexe Multimedia-Objekte	Zerlegung und Rekonstruktion Strukturdaten Segmentierung
	Ein-/Ausgabegeräte	Nutzer- und Hardware-Profile Nutzerpräferenzen Anfrageformulierung Darstellbarkeit Optimierung

Overview

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

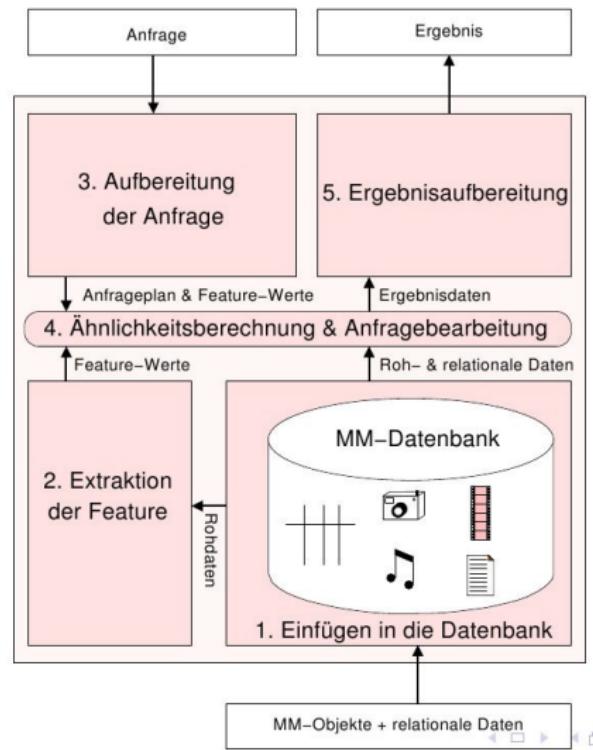
Eignung

Ähnlichkeit

- 1 Besonderheiten der Verwaltung und des Retrievals
- 2 **Ablauf des Multimedia-Information-Retrievals**
- 3 Daten eines Multimedia-Retrieval-Systems
- 4 Feature
- 5 Eignung verschiedener Retrieval-Modelle
- 6 Multimedia-Ähnlichkeitsmodell

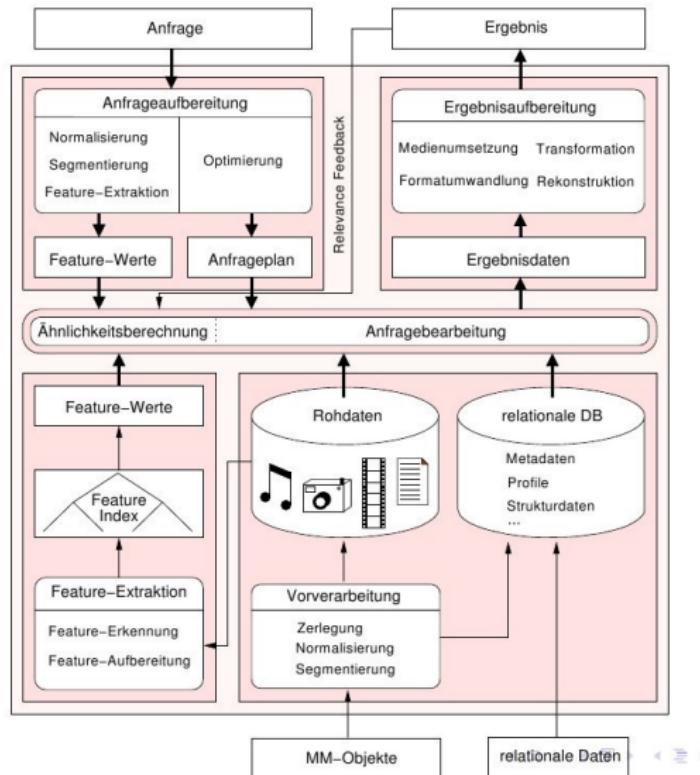
Ablauf des MM-Information-Retrievals

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit



Detaillierter Ablauf des MM-Information-Retrievals

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit



Fünf Aktionen

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

Die Verwaltung und das Retrieval von MM-Daten wird grob in 5 Aktionen unterteilt:

1. Einfügen in die MM-Datenbank
2. Extraktion der Feature-Werte
3. Aufbereitung der Anfrage
4. Anfragebearbeitung und Ähnlichkeitsberechnung
5. Ergebnisaufbereitung

Aktion 1: Einfügen in die MM-Datenbank

- Unterscheidung: MM-Objekte, Metadaten, Strukturdaten, relationale Daten
- Metadaten: Medien-Typ, Speicherformat, Profildaten
- relationale Daten: etwa Namen abgebildeter Personen, Aufzeichnungszeitpunkt
- Zerlegung komplexer MM-Objekte in nichtkomplexe Medien-Objekte und Strukturdaten
- Normalisierung der MM-Objekte zur Unterdrückung von Störfaktoren
- Segmentierung der Medien-Objekte

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

Aktion 2: Extraktion der Feature-Werte

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

- Feature-Erkennung: Algorithmen zur Ableitung von Feature-Werten
- Feature-Aufbereitung
- Ablegen im Feature-Index

Aktion 3: Aufbereitung der Anfrage

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

- Anfrage zerlegbar in klassische Ähnlichkeitsanfrage
- Optimierung der klassischen Anfrage
- Ähnlichkeitsanfrage anhand Anfrageobjekt: Schritte wie beim Einfügen in Datenbank und Extraktion

Aktion 4: Anfragebearbeit. & Ähnlichkeitsberech.

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit

- Ähnlichkeitsanfrage: Berechnung der ähnlichen Objekte anhand Ähnlichkeitsfunktion unter Ausnutzung von Feature-Index
- bei komplexen Ähnlichkeitsanfragen: Zerlegung und anschließende Kombination der Ergebnissequenzen
- Kombination auch mit Ergebnis der klassischen Datenbankanfrage

Aktion 5: Ergebnisaufbereitung

- Anpassung an Vorgaben des Anwenders (Nutzer- und Geräteprofile)
- Medienumsetzung, Formatumwandlung, Transformationen
Rekonstruktion komplexer Objekte
- Optimierung
- zeitliche und räumliche Anordnung der Ergebnisobjekte
- Interaktion mit Nutzer

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

Kombination von Ergebnissequenzen

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit

Suche nach
Bildern mit
Sonnenuntergang

③

④

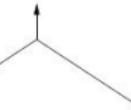
Ergebnis: kreisförmig
und hoher Farbanteil

①

⑥

⋮

⋮



①

③

kreisförmige
Medien-Objekte

②

⑥

Medien-Objekte
mit hohem Rotanteil

③

④

④

⑧

⋮

⋮

Overview

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit

- 1 Besonderheiten der Verwaltung und des Retrievals
- 2 Ablauf des Multimedia-Information-Retrievals
- 3 Daten eines Multimedia-Retrieval-Systems**
- 4 Feature
- 5 Eignung verschiedener Retrieval-Modelle
- 6 Multimedia-Ähnlichkeitsmodell

Klassifikation der Daten

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

Klassifikation	Daten	Beispiele
Multimedia-Objekt (Strukturdaten)	nicht-textuell	Graphen
	textuell	XML, HTML, VRML, X3D
Medien-Objekt	Dokument	Freitext, XML, HTML, VRML, X3D
	nicht-textuell	Videos, Bilder, Audio-Daten
weitere Daten	Nutzerprofil	Präferenzen
	Geräteprofil	Geräteauflösung, Gamma-Werte

Klassifikation der Daten

- *Medien-Objekt*: Daten eines Medien-Typs (textuell oder nicht-textuell)
- *Multimedia-Objekt*: Kombination mehrerer Medien-Objekte (Zerlegung in Medien-Daten und Strukturdaten sinnvoll)
- *Strukturdaten*: nicht-textuell durch Graphen oder textuell
- *weitere Daten*

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

Klassifikation der Metadaten

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit

Klassifikation	Metadaten	Beispiele
inhaltsbeschreibend (interpretierend)	kontextbeschreibend	Indexvokabular, Ontologien, Thesaurus
	kontextbezogen	Identifikation, Raum- und Zeitdaten
	objektbeschreibend, nicht-textuell	Gegenstände, Personen, Eindrücke, Aktivitäten, Titel
	objektbeschreibend, textuell	Annotation, Drehbuch, Untertitel
inhaltsbezogen (nicht interpretierend)	Feature	Farbverteilung, Textur, Klangdynamik, Form
	Segmentspezifikation	Anfang und Ende einer Video-Szene, Umriss eines Bildausschnitts
inhaltsunabhängig	präsentationsbezogen	QoS, Auflösung, Layout
	aufnahmebezogen	Urheber, Aufnahmegerät
	speicherungsbezogen	Medien-Typ, Speicherformat, Speicherort

Klassifikation der Metadaten

- *inhaltsunabhängig*: wichtig für Verwaltung und Interpretation
- *inhaltsbezogen*: Semantik auf niedriger Abstraktionsstufe, aber automatisch extrahierbar
- *inhaltsbeschreibend*: Semantik auf hoher Abstraktionsstufe, kaum automatisch extrahierbar
 - *objektbeschreibend*: Beschreibung einzelner Medien-Objekte
 - *kontextbezogen*: Beschreibung von Medien-Objekten bezogen auf Kollektion von Medien-Objekten
 - *kontextbeschreibend*: Beschreibung einer Kollektion von Medien-Objekten

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

Overview

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

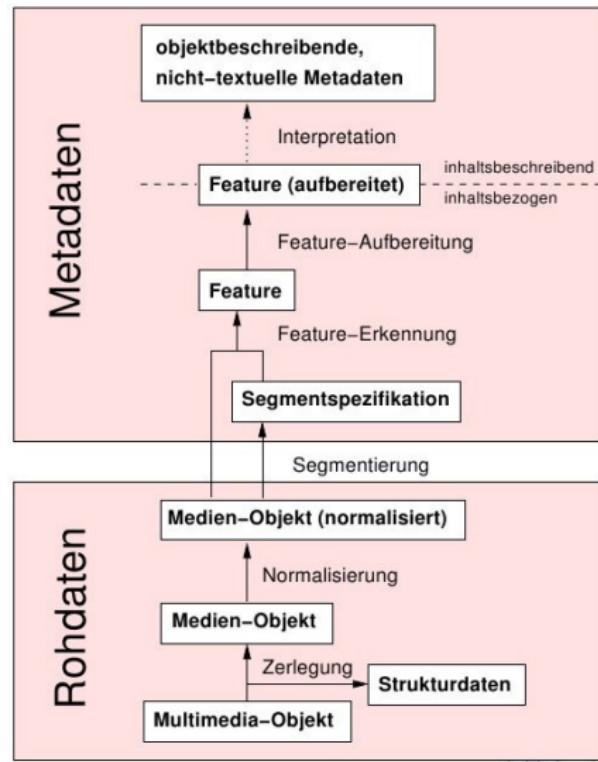
Eignung

Ähnlichkeit

- 1 Besonderheiten der Verwaltung und des Retrievals
- 2 Ablauf des Multimedia-Information-Retrievals
- 3 Daten eines Multimedia-Retrieval-Systems
- 4 Feature**
- 5 Eignung verschiedener Retrieval-Modelle
- 6 Multimedia-Ähnlichkeitsmodell

Metadaten auf verschiedenen Abstraktionsebenen

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit



Semantische Lücke

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit

- begrenzte semantische Ausdruckskraft automatisch extrahierter Feature-Werte
- Lücke zwischen menschlicher Inhaltsbeschreibung und Ausdruckskraft automatisch abgeleiteter Features
- Beispiel: Bildsuche nach Fliegenpilz anhand Farbverteilung und Form von Bildsegmenten; Fehler bei rot-weißem Spielball
- Fazit: Feature repräsentieren i. All. low-level-Semantik

Anforderungen an Feature-Extraktion

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit

- *Adäquatheit*: Werte müssen Eigenschaft angemessen ausdrücken
- *effiziente Berechnung*
- *Berücksichtigung von Invarianzen*: Unabhängigkeit von ungewollten Eigenschaften
- *Minimalität*: minimale Anzahl von Feature-Werten
- *Orthogonalität*: orthogonale Feature-Werte

Anforderungen an Feature-Extraktion

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit

$\text{Feature-Extraktion} = \text{Feature-Erkennung} + \text{Feature-Aufbereitung}$

Feature-Extraktion	Anforderung
Feature-Erkennung	Adäquatheit Effizienz Invarianzen
Feature-Aufbereitung	Minimalität Orthogonalität

Häufige Feature-Datentypen

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

- Punkt: $\text{array}[1 \dots n]$ (real)
- Binärdaten: $\text{array}[1 \dots n]$ (boolean)
- Intervall: $\text{array}[1 \dots n]$ (tuple - unten: real, oben: real)
- 2-dimensionale Region: $\text{list}(\text{tuple}(x : \text{real}, y : \text{real}))$
- Histogramm

Feature-Aufbereitung, Motivation

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

- fehlende Minimalität:
 - hoher Speicherplatzverbrauch
 - hoher Berechnungsaufwand
 - ineffiziente Indexstrukturen (Fluch der hohen Dimensionen)
- fehlende Orthogonalität:
 - Abhängigkeiten innerhalb Feature-Werte möglich
 - Problem: keine Manipulation von Werten isoliert möglich

Overview

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

- 1 Besonderheiten der Verwaltung und des Retrievals
- 2 Ablauf des Multimedia-Information-Retrievals
- 3 Daten eines Multimedia-Retrieval-Systems
- 4 Feature
- 5 Eignung verschiedener Retrieval-Modelle**
- 6 Multimedia-Ähnlichkeitsmodell

Boolesches Modell, Eignung

- basiert auf Mengentheorie und Boolescher Algebra
- keine Unterstützung gradueller Ähnlichkeitswerte
- Semantik ist für viele Anwendungen zu scharf
- Negativbeispiel: Bildähnlichkeitssuche
- Vorteil: Konstruktion komplexer Anfragen mittels Boolescher Junktoren

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

Fuzzy-Modell, Eignung

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit

- Verallgemeinerung Boolesches Modell um graduelle Zugehörigkeitswerte (Ähnlichkeitswerte)
- Junktoren auf Zugehörigkeitswerten ermöglichen Konstruktion komplexer Anfragen
- Import von Zugehörigkeitswerten (Ähnlichkeitswerten) aus Vektorraummodell
- ermöglicht Einbindung relationaler Anfragen

Vektorraummodell

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

- Feature-Werte von Medienobjekten als geometrische Objekte im Vektorraum
- Verfahren der linearen Algebra für Retrieval einsetzbar
- gute Grundlage zur Ermittlung von Ähnlichkeitswerten (viele Distanz- und Ähnlichkeitsfunktionen verfügbar)

Overview

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit

- 1 Besonderheiten der Verwaltung und des Retrievals
- 2 Ablauf des Multimedia-Information-Retrievals
- 3 Daten eines Multimedia-Retrieval-Systems
- 4 Feature
- 5 Eignung verschiedener Retrieval-Modelle
- 6 Multimedia-Ähnlichkeitsmodell

Multimedia-Ähnlichkeitsmodell

- viele Möglichkeiten zur Berechnung von Ähnlichkeitswerten
- hier vereinfachtes, verallgemeinertes
MM-Ähnlichkeitsmodell
- Voraussetzungen:
 - Feature-Werte gruppiert nach Feature und
Extraktionsverfahren
 - Ähnlichkeitswert (RSV für *retrieval status value*): pro
Medienobjekt und Ähnlichkeitsanfrage ein Ähnlichkeitswert
aus $[0, 1]$
 - mehrere Feature-Gruppen: Anfrage mit mehreren Gruppen
 - mehrere Anfrageobjekte
z. B. aufgrund Nutzerprofil, positiv bewertete Objekte bei
Anfrage-Iteration

Besonderheiten

Ablauf

Daten

Feature

Eignung

Ähnlichkeit

Multimedia-Ähnlichkeitsmodell

Besonderheiten
Ablauf
Daten
Feature
Eignung
Ähnlichkeit

