Kapitel 1
Einführung

Skript zur Vorlesung: Spatial, Temporal, and Multimedia Databases
Wintersemester 15/16, LMU München

© 2006 Prof. Dr. Hans-Peter Kriegel, Dr. Peer Kröger, Dr. Peter Kunath, Dr. Matthias Renz, Arthur Zimek

Termine

- Vorlesung: Dienstags 14 –17 Uhr Raum M010 (Hauptgebäude)
- Übung: Montag, 14-16 Uhr Raum M 209 (Hauptgebäude)
- Montag, 16-18 Uhr Raum M 209 (Hauptgebäude)

(**Start des Übungsbetriebs: 26.10.2015**)

Anmeldung für den Übungsbetrieb auf der Homepage

http://www.dbs.ifi.lmu.de/cms/Spatial,_Temporal_and_Multimedia_Databases

Schein-/Punkteerwerb

- Zulassung: Anmeldung für den Übungsbetrieb (über Uniworx auf der Homepage)
- Prüfung: Klausur

Inhalt der Vorlesung

- Ähnlichkeits-, Nachbarschafts- und Schnittanfragen in Datenbanken mit allg. komplex-strukturierten Daten:
  - aus der Wissenschaft (Medizin, Biologie, Archeologie, …)
  - Multimedia Objekte (Bilder, Videos, …)
  - Räumliche Objekte (CAD Daten)
  - Zeitliche (zeitabhängigen) Objekte bzw. Sequenzdaten (Temperaturkurven, Aktienkurse, …)
- Ähnlichkeitsmodelle

  Modellierung der Ähnlichkeit von räumlichen, zeitlichen und Multimedia Objekten
- Algorithmen zur Ähnlichkeits- bzw. Nachbarschaftssuche

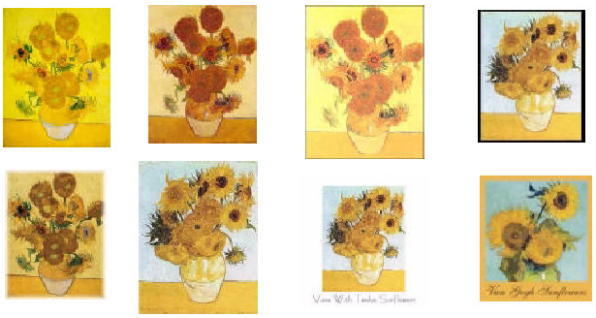
  Effiziente Bearbeitung von Nachbarschaftsanfragen

1.1 Motivierende Beispiele

Beispiel 1: Bildersuche

- Gegeben: Archiv mit 2 Mio. Bildern (2D Objekte)
- Frage: Ist im Archiv ein bestimmtes Kunstwerk abgebildet?

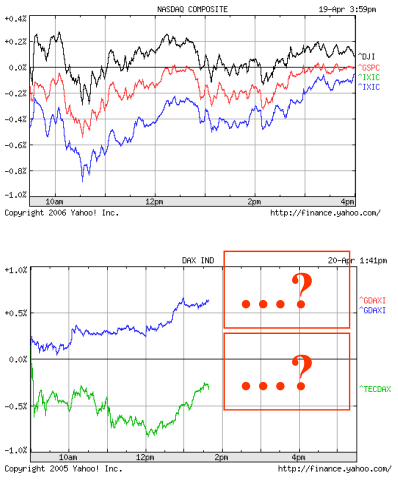
- Herausforderung
  - „abgebildet“ heißt nicht „identische Binärrepräsentation“ wie das Anfragebild



  - Abweichungen
    - Unterschiedliche Größe (Skalierung, Auflösung)
    - Unterschiedliche Ausrichtung z.B. durch unterschiedliche Perspektive (Spiegelung, …)
    - Unterschiedliche Farbgebung (Tönung der Farben)
    - Abweichende Ausschnittsbildung
    - Hinzugefügter Rand oder Beschriftung
    - …

Beispiel 2: Trendanalyse für Aktienkurse

- Gegeben: Datenbank von Aktienkursen, Anfrage-Kurs
- Frage: Finde Aktien in der DB, die einen ähnlichen Kurs wie die Anfrage haben (um zukünftiges Verhalten vorherzusagen)



- Herausforderungen:
  - Zeitverschiebungen
  - Ausreißer
  - Unterschiedliche Skalierung
  - …

Beispiel 3: Sequenzsuche in Videodateien

- Gegeben: Datenbank von Videofilmen, Anfragesequenz
- Gesucht: alle Videos in der DB, die eine Sequenz ähnlich der Anfragesequenz enthalten
- Herausforderungen:
  - Erkennen von Bildinhalten statt reiner Bildähnlichkeit
  - Unvollständige Bildsequenzen
  - Unterschiedlich lange Sequenzen
  - Unterschiedliche „Auflösung“ (FPS, Bildauflösung)
  - …

Beispiel 4: Location-Based Services (LBS)

Definition: *Standortbezogene Dienste (Location-Based Services) = Dienste, die unter Zuhilfenahme von positions-, zeit- und personenabhängigen Daten dem Endbenutzer selektive Informationen bereitstellen* [Wikipedia]

- Gegeben:
  - Datenbank von sich bewegenden Objekten (z.B. Autos in einem Strassennetz)
  - Menge von ausgezeichneten Positionen (z.B. Orte von Interesse wie z.B. Restaurants, etc.)
- Gesucht: alle Autos die sich in der unmittelbaren Nähe von Tankstellen der Firma „*Tankgut*“ befinden
- Herausforderungen:
  - Indexierung von und Nachbarschaftsanfragen auf Objekten in nicht-Euklidischen Räumen
  - Distanzberechnungen in Straßennetzwerken sind teuer
  - …

- Allgemeine Problemstellungen bei der Ähnlichkeitssuche
  - Informelle Ebene
    - Ähnlichkeit situationsabhängig, z.B. Bildsuche
      - » Suche nach „Abendrot“ => Farben wichtig
      - » Suche nach „Personen“ => Formen wichtig
    - Ähnlichkeit personenabhängig (z.B. rot/grün Blindheit)
    - Allgemein: Ähnlichkeit Gegenstand psychologischer Forschung
  - Formale Ebene
    - Mathematische Beschreibung von Objekten (Objektrepräsentation)
    - Mathematische Beschreibung der „Ähnlichkeit“ zum Vergleich von Objekten
    - Ähnlichkeitsmaß: quantitative Bewertung der Ähnlichkeit zweier Objekte durch eine Maßzahl (z.B. „100% ähnlich“); komplementär: Distanzmaß (z.B. „Abstand gleich 0“)
  - Pragmatische Ebene
    - (effizienter) Algorithmus zur Bestimmung der Ähnlichkeit zwischen zwei Objekten
    - (effizienter) Algorithmus zur Suche von ähnlichen Objekten in einer großen Datenbank

- Teilproblem der Suche
  - Sequentielle Suche („sequential scan“)
    - Vergleich des Anfrageobjekts mit jedem einzelnen Datenbankobjekt
    - Skaliert *linear* zur Größe der Datenbank, d.h. 100-mal mehr Objekte => 100-mal längere Suchzeit
      => für große Datenbanken dauert Suche „viel zu lange“
  - Herausforderungen
    - Beschleunigung der Suche (geschickte Datenorganisation)
    - Beschleunigung der Einzelvergleiche (geeignete Repräsentationen)
- Lösungsansatz 1: Annahme einer Normalform
  - Normalform: es gibt Stringdarstellung $s(v)$, $s(w)$ für jedes Objekt v,w, sodass $s(v) = s(w) \Leftrightarrow w$ stellt v dar
  - Bewährte Suchtechniken skalieren gut für sehr große Datenbanken (Suchbaum, Hashverfahren)
  - ABER: geeignete Normalform(en) schwierig (sehr unwahrscheinlich) zu finden

– Lösungsansatz 2: Feature-basierte Ähnlichkeit
  - z.B. Bildsuche: Einfache Eigenschaft eines Bildes: Durchschnittsfarbe

    $$\text{avg: pic} \rightarrow (r,g,b)$$

    dann gilt

    $$v \text{ stellt } w \text{ dar} \Rightarrow \text{avg}(v) = \text{avg}(w)$$

    Ähnlichkeitsanfrage: $|\text{avg}(v) - \text{avg}(w)| \leq \varepsilon$
    – Sinnvoll, falls nicht zu viele Bilder ε-ähnlich (kleine Selektivität der Anfrage)
    – Mehrstufiges Vorgehen: avg als Filter, genauer Vergleich als Verfeinerung

    Mögliche Erweiterungen
    – Farbhistogramme statt einfache Durchschnittsfarbe
    – Beziehungen der einzelnen Dimensionen berücksichtigen
    – Berücksichtigung der dargestellten Formen (geometrische Ebene)
    – Berücksichtigung von dargestellten Objekten (semantische Ebene)
    – Erweiterung auf Bildfolgen (Videos)
    – …

1.2 Inhalt der Vorlesung

1. Einführung

2. Prinzipien der Anfragebearbeitung in STMM-DBS

3. Räumliche Anfrage und Ähnlichkeitssuche für räumlich ausgedehnte Objekte

4. Ähnlichkeitssuche in zeitlichen Objekten & Sequenzen

1.3 Warum STMM-Datenbanken

– Spatial-, Temporal-, Multimedia-Objects
  - Irreversibler Trend in der IT
  - Neue Qualität von Informationen
    Beschreibung von komplexen Strukturen, dynamischen Vorgängen, etc.
  - i.A. geringerer Informationsverlust wenn Verarbeitung im jeweiligen „Medium“ statt Umsetzung in ein anderes Medium

– Warum Datenbank-Technologie für STMM?
  - Sehr große Mengen an Daten vorhanden
  - Speicherplatzintensive Daten
  - In vielen STMM-Anwendungen ist Mehrbenutzerbetrieb erwünscht
  - Daten sollen (effizient und effektiv) recherchierbar sein

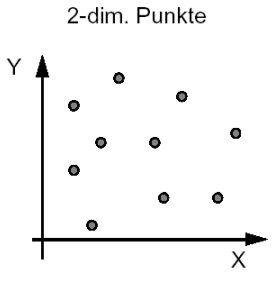
– Standard-DBS
  - Konsistenzerhaltender Mehrbenutzerbetrieb
  - Physische und logische Datenunabhängigkeit
  - Effiziente Anfragebearbeitung durch geeignete Speicherungsstrukturen
  - Unterstützung von Transaktionen
    – Concurrency: Isolation gleichzeitiger Updates verschiedener Benutzer
    – Recovery: konsistentes Wiederaufsetzen im Fehlerfall
    – Überwachung der Datenintegrität
  - Datensicherheit, Datenschutz

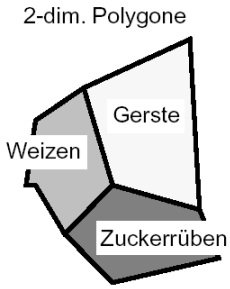
- STMM-DBS
  - Verschiedene Verwendungen des Begriffs, z.B. für:
    - CD Sammlungen, die Infos mittels Stichwortsuche zugreifbar machen
    - Systeme zur Organisation und Sichtung von Informationen mittels Browser (z.B. WiKi)
    - Video-on-demand-Systeme
    - CAD-Systeme, die DBS nutzen
    - Relationale DBS, die zusätzlich sog. BLOBs (Binary Large OBjects) speichern
  - In dieser Vorlesung ganz allgemein ein DBS
    - mit hoher Kapazität und Performanz
    - das Spatial-,Temporal-, und Multimedia-Datentypen sowie alphanumerische Datentypen unterstützt
    - das mit großen Datenvolumina umgehen kann

1.4 Anwendungen

1.4.1 Anwendungen mit räumlichen Daten

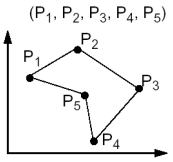
- Geoinformationssysteme (GIS)
  - Geo-Objekte typischerweise 2D oder 3D mit räumlichen Bezugspunkt
  - Oft zusätzliche räumliche und nicht-räumliche Attribute
    - Geometrische Attribute (Koordinaten, Fläche, Umfang, …)
    - Topologische Attribute (Nachbarschaftsbeziehung, …)
    - Thematische Attribute („Landuse“, …)



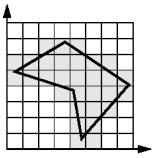


- Datenmodellierung
  - Vektormodell
    - » Geo-Objekte werden durch ihren Rand beschrieben
    - » Der Rand wird durch eine Menge von Punkten definiert
  - Rastermodell
    - » Geo-Objekte werden durch ihr Inneres beschrieben
    - » Das Innere wird als Menge von Pixeln eines Gitters definiert

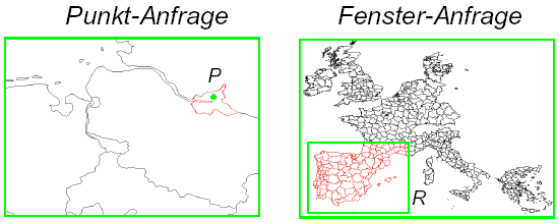
Vektormodell:



Rastermodell:

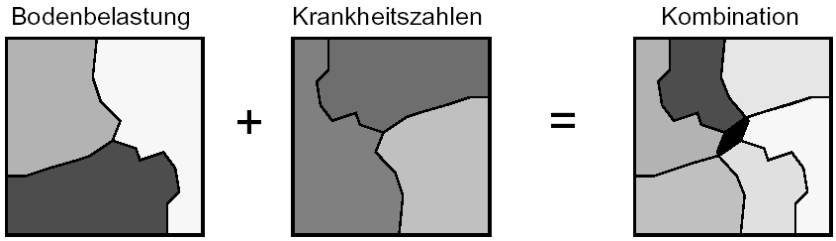


- Anfragen/Recherche
  - Thematische Anfragen (“Suche alle Krankenhäuser”)
  - Geometrische Anfragen



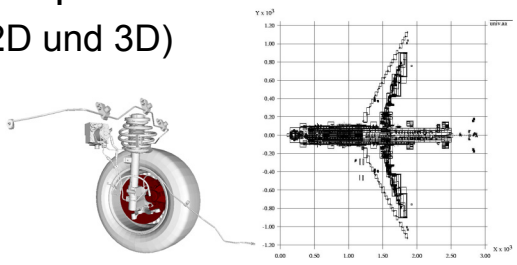
  - Thematisch-geometrische Anfragen (“Suche alle Krankenhäuser in einem Umkreis von 50 km”)

  - *Map Overlay:* Verschneidung von 2 oder mehr Karten (Kombination von Geometrie und Thematik)

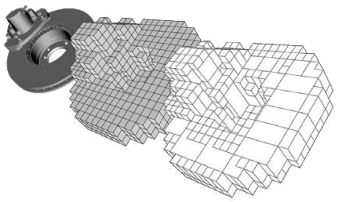


=> Unterstützung durch DBS: *Spatial Join*

– CAD-Systeme, Digital Mock-up, Haptische Simulation
  - Komplexe geometrische Objekte (2D und 3D)
    – Bauteil-Oberflächen und -Volumina
    – Hüllgeometrien

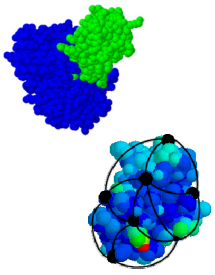


  - Datenmodellierung
    – 3D Erweiterung von Vektor- oder Rasterbildern (Voxel ≡ Pixel)
    – Darstellung durch
      » Triangulation
      » Voxelisierung
      » Intervalle
      » …



  - Anfragen/Recherche
    – ähnliche Formen
    – Schnitt-/Kollisionsanfragen

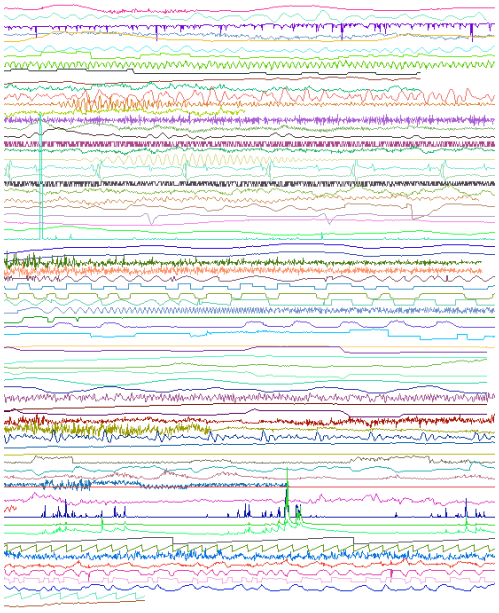
– Biomoleküle (Proteindocking, Medikamentenentwurf, …)
  - 3D Objekte i.d.R. bestehend aus 3D Atomkoordinaten
  - Zusätzliche physikochemische Eigenschaften der Atome
  - Unterschiedlichste Datenmodellierungen
    – 3D Punktmengen (Atomkoordinaten)
    – Oberflächenmodellierungen (Triangulation, Voxelisierung)
    – Graphmodellierung
    – ...



  - Anfragen/Recherche
    – Geometrische Ähnlichkeit
    – Suche nach komplementärer Oberfläche (Dockingpartner)
    – Berücksichtigung physikochemischer Eigenschaften

1.4.2 Anwendungen mit Zeitreihen und Sequenzen

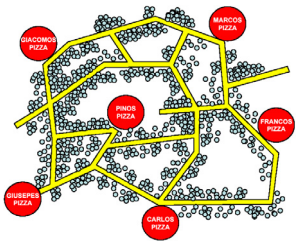
- Zeitreihenanalyse
  - Meist periodisch aufgenommene Messwerte einer physikalischen Größe
    - Aktienkurse
    - Fieberkurven
    - Herzfrequenz
    - Sensoren
    - …
  - Datenmodellierung
    - Einfache Listen von Messwerten
  - Anfragen/Recherche
    - Komplette Ähnlichkeit
      - » Ähnlichkeit in der Zeit (z.B. L_2-Norm)
    - Partielle Ähnlichkeit
      - » Ähnlichkeit in der Gestalt (Muster)
      - » Autokorrelation



- Sequenzdaten
  - Objekte sind Zeichenketten über ein (typischerweise fixes) Alphabet
    - Text optional erweitert um
      - » Strukturelle Informationen wie Titel, Autor, etc. z.B. durch Mark-up Sprachen (SGML, HTML, XML, …)
      - » Layout-Informationen
    - Biologische Sequenzen
      - » Proteinsequenzen (3-Letter-Code, 1-Letter-Code)
      - » Nucleotidsequenzen (Alphabet meist aus den vier Zeichen {A,C,G,T})
  - Anfragen/Recherche
    - Suche nach einzelnen Wörtern/Wortkombinationen (Volltextsuche)
    - Toleranz gegenüber Ortographie- oder Konvertierungsfehlern, Synonyme
    - Suche nach ähnlichen Dokumenten

1.4.3 Anwendungen mit beweglichen Objekten

- Analyse von Objekte in einem Verkehrsnetz
  - Location-based Services, Verkehrsplanung und -monitoring
  - Objekte, die sich entlang eines Verkehrsnetzes bewegen
    - Autos, Fußgänger, Züge, …
  - Modellierung
    - Verkehrsnetz ≡ (evtl. gerichteter) Graph
    - Knoten: Kreuzungen, …
    - Kanten: Verbindungen (Straßen, …)
    - Objekte auf Kanten oder Knoten plaziert
  - Anfragen/Recherche
    - Ähnlichkeit (bzgl. der Lage) zwischen Objekten über Netzwerkdistanz (Dijkstra-Algorithmus)
    - Suche nach räumlich nahen Objekten
    - Suche nach Objekten mit ähnlichen Bewegungspatterns



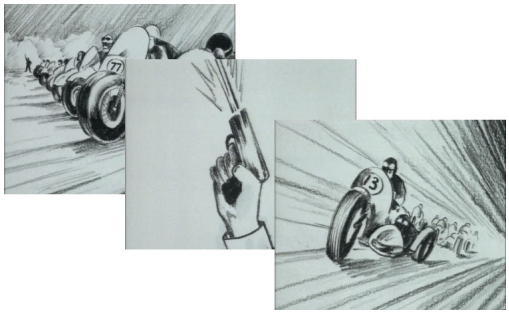
1.4.4 Typen von Multimediaobjekten

- Graphen
  - Beschreiben viele Konzepte menschlichen Denkens (Schaltpläne, Organisationsstrukturen, …)
  - Anfragen/Recherche
    - Struktur des Graphen
    - Knotenattribute, Kantenattribute
    - Ähnlichkeitssuche nach
      - » Gesamtähnlichkeit (ganzer Graph)
      - » Partielle Ähnlichkeit (Teilgraphen)
- Rasterbilder (still image)
  - Modellierung
    - Zahlreiche Formate und Kompressionsverfahren (JPEG,GIF,PNG,TIFF,…)
    - Matrix mit Bildpunkten (Pixel)
    - Pixeltiefe (Farbtiefe):
      - » 1 Bit pro Pixel => s/w-Bilder
      - » >1 Bit pro Pixel => Grauwert-/Farbbilder

  - Farbtabellen
    - » Wenn wenige Bits für Codierung zur Verfügung stehen
    - » Fixe Bitanzahl z.B. für Grundfarben (RGB, CYM)
    - » Alle Farben lassen sich durch Mischung erzeugen
- Anfragen/Recherche
  - Suche nach ähnlichen Bildern (Farbe, Formen, …)

– Audio
- Sprache, Musik, …
- Modellierung:
  - Zeitreihen/Sequenzen, z.B. Pulse Code Modulation (PCM)
    - » Feste Zeitabstände (Abtastrate, sampling rate)
    - » Feste Bitanzahl zum Codieren (Abtasttiefe)
  - Musik oft in abstrakter Form (Notensequenz, MIDI-Daten)
  - Zahlreiche Kompressionsverfahren
- Anfragen/Recherche
  - Mustererkennung mit oder ohne Berücksichtigung der Lautstärke/Sprechgeschwindigkeit etc.

– Video
- Sequenz von Rasterbildern oder Vektorgrafiken (Animation)

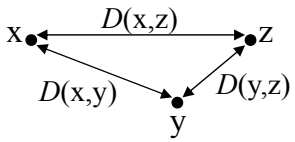


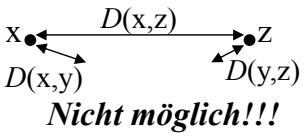
- Anfragen/Recherche
  - Ähnlichkeitssuche (Plagiaterkennung)
  - Subsequenzsuche
    - » Szenen
    - » Einstellungen
    - » …

1.5 Recherche in STMM-DBS (Überblick)

- Unterschiede zu traditionellen DBS
  - In Standard-DBS spezifiziert Benutzer Bedingungen, die Ergebnisse erfüllen müssen (bestimmte Attributswerte); deklarative Anfragen in SQL
  - In STMM-DBS sind Anfragen nach bestimmten Attributswerten eher die Ausnahme
  - Typisch: Recherche auf Basis von Ähnlichkeit
  - Spezifikation einer Anfrage durch
    - Konkretes Anfrageobjekt, das durch den Benutzer zur Verfügung gestellt wird (z.B. durch URL, Datei, …)
    - Vereinfachte Approximation eines Anfrageobjektes (Skizze, Summen, …)
    - Kein Anfrageobjekt; stattdessen: Datenobjekte werden hierarchisch organisiert, Benutzer navigiert durch diese Hierarchie

- Ähnlichkeitsmodelle
  - Modellierung/Repräsentation von Datenobjekten
  - Datenspezifisch (Bilder, Sequenzen, …)
  - Anwendungsspezifisch („Personen“, „Abendrot“, …)
- Ähnlichkeitsmaße
  - Messen der Ähnlichkeit zweier Objektrepräsentationen
  - Meist werden *Distanzfunktionen* verwendet
  - Oft bildet Distanzfunktion *D* eine *Metrik*
    - $D(x,y) = 0 \Leftrightarrow x = y$ Reflexivität
    - $D(x,y) \geq 0$ Positiv-Definitheit
    - $D(x,y) = D(y,x)$ Symmetrie
    - $D(x,y) + D(y,z) \geq D(x,z)$ Dreiecksungleichung



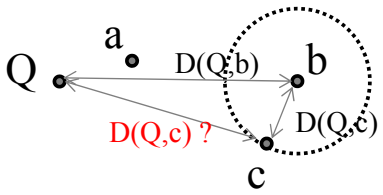


Nicht möglich!!!

– Dreiecksungleichung sehr wichtig für die Effizienz der Suche
  » Gegeben: DB={a,b,c},
    paarweise Distanzen in einer Tabelle

	a	b	c
a		6.70	7.07
b			2.30
c			

  » Gesucht: ähnlichstes Objekt bzgl. Anfrage Q
  » Ablaufbeispiel:
    Zuerst wird a mit Abstand 2 von Q gefunden; a ist aktueller Kandidat.
    Dann wird b mit Abstand 7.81 von Q gefunden.
    Distanz von Q zu c muss nicht mehr berechnet werden, um c auszuschließen, da



$$D(Q,b) \le D(Q,c) + D(b,c)$$
$$D(Q,b) - D(b,c) \le D(Q,c)$$
$$7.81 - 2.30 \le D(Q,c)$$
$$5.51 \le D(Q,c)$$

  » Objekt c ist also mindestens 5.51 Einheiten von Q entfernt; der aktuelle Kandidat a ist nur 2 Einheiten entfernt

Literatur zur Vorlesung

– Die Vorlesung basiert im Wesentlichen auf aktuellen Forschungsergebnissen
– Meist sind die in dieser Vorlesung besprochenen Konzepte bisher nur in den Orginalpublikationen besprochen
– Daher orientiert sich diese Vorlesung leider nicht an einschlägigen Lehrbüchern
– Falls weiterführende Literatur zu einzelnen Aspekten der Vorlesung existiert, wird darauf an entsprechender Stelle hingewiesen.