

STUDIEN

Effiziente Algorithmen

für Studenten der Mathematik und Informatik
an der Freien Universität Berlin

Semesterheft Winter 2006/07

STUDIEN
SEMESTERHEFT
WINTER 2006/07

Allgemeines

Das Gebiet *Effiziente Algorithmen* ist eines der Bindeglieder zwischen Informatik und Mathematik. Einerseits gehören Algorithmen und Datenstrukturen zum Kern der praktischen Informatik, andererseits bezieht die zugrundeliegende Theorie ihre Methoden im wesentlichen aus der diskreten Mathematik. Die Anwendungen reichen in zahlreiche Gebiete wie Computer-Grafik, Mustererkennung, Robotik, Computer Aided Design, Bioinformatik, Kartographie, Bildverarbeitung usw. Einige konkrete Beispiele werden anhand von Diplomarbeiten, Dissertationen und Projekten am Ende dieser Broschüre vorgestellt.

Das Gebiet ist an der FU durch die Arbeitsgruppe *Effiziente Algorithmen* (Professoren H. Alt, C. Knauer, G. Rote, <http://www.inf.fu-berlin.de/inst/ag-ti/>) vertreten. Auch Forschungsgruppen der anderen beiden Universitäten Berlins und des Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin arbeiten auf diesem Gebiet. Alle diese Institutionen tragen gemeinsam das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Graduiertenkolleg *Methods for Discrete Structures*. (Siehe auch: <http://www.math.tu-berlin.de/MDS>).

Neben zahlreichen Lehrveranstaltungen werden auch andere Möglichkeiten zur Weiterbildung angeboten. So finden zum Beispiel der Berliner Algorithmen-Tag oder mehrtägige Spezialschulen regelmäßig statt.

Der Studienschwerpunkt ist ein Vorschlag zur Vertiefung in dieses Fachgebiet im Rahmen der Studiengänge Mathematik und Informatik an der Freien Universität. Zum Beispiel wird eine abgestimmte Folge von Lehrveranstaltungen von den Grundlagen bis zu den Anwendungen angeboten. Darüberhinaus sollen den Studenten die zahlreichen Angebote in dieser Richtung in Berlin besser zugänglich gemacht werden. Dazu wird diese Informationsbroschüre jedes Semester aktualisiert. Neben Vorschlägen zur Studienplanung werden hier allgemeinere Informationen zum Gebiet *Effiziente Algorithmen* zusammengefasst. Die Broschüre gibt einen Überblick über die Lehrveranstaltungen zum Gebiet – auch an den anderen Berliner Universitäten – und die Lehrveranstaltungsplanung für die folgenden Semester. Zusätzlich gibt sie Informationen zu Tagungen und ähnlichen Veranstaltungen, zu den in der Arbeitsgruppe *Effiziente Algorithmen* tätigen Mitarbeitern und ihren Arbeitsgebieten sowie zu aktuell im Fachbereich behandelten Forschungsthemen (Diplomarbeiten, Dissertationen

etc.).

Interessenten können sich im Sekretariat der Arbeitsgruppe Theoretische Informatik (Takustr. 9, Raum 111) in den Studienschwerpunkt einschreiben. Sie erhalten dann regelmäßig das Semesterheft und werden laufend über Veranstaltungen wie etwa Vorträge, Spezialschulen und Tagungen informiert.

1 Vorschlag zur Studienplanung

Für die Teilnahme am Studienschwerpunkt sind gewisse Grundkenntnisse aus dem Grundstudium unerlässlich. Es wird empfohlen, Vorlesungen und Kurse zu Kombinatorik, Wahrscheinlichkeitstheorie, Graphentheorie, Algorithmen und Datenstrukturen sowie Programmierung frühzeitig zu besuchen. Innerhalb des Hauptstudiums ist sowohl eine Orientierung in mathematisch-theoretischer Richtung als auch eine zu Anwendungsgebieten hin möglich. Im folgenden geben wir Empfehlungen zur Organisation des Studiums für beide Richtungen. Natürlich sind auch Mischformen und eine andere Organisation möglich.

Folgende Module werden im Hauptstudium regelmäßig angeboten:

Thema	Kürzel	SWS
Aktuelle Forschungsthemen der Algorithmik	[FA]	2+2
Algorithmische Geometrie	[AG]	4+2
Ausgewählte Themen der Algorithmik	[AT]	4+2
Computergrafik	[CG]	4+2
Höhere Algorithmik	[HA]	4+2
Softwareprojekt	[AA]	5
Seminar über Algorithmen	[SA]	2

Im folgenden schlagen wir passende Veranstaltungsfolgen für das Studium im Studienschwerpunkt vor. Der Vorschlag sollte individuell durch begleitende Lehrveranstaltungen aus Mathematik und Informatik ergänzt werden.

Vertiefung in theoretischer Richtung.

- [HA] (4V + 2 Ü) im 5. Semester (1. Semester Masterstudien-
gang).
- [AT], [AG] (4V + 2 Ü) im 6. Semester (2. Semester MS).
Themenbeispiele: *Algorithmische Geometrie* oder *Graphenal-
gorithmen* oder *Optimierung* oder *Parallele Algorithmen*
oder ...
- [AT],[FA],[SA],[AG] Zumindest eine Vorlesung und ein Seminar im 7. & 8. Semester
(3. & 4. Semester MS).
Themenbeispiele: *Pattern Matching* oder *Randomisierte
Algorithmen* oder *Graphenalgorithmen* oder ...
- ★ anschließend *Diplomarbeit*.

Vertiefung in anwendungsbezogener Richtung.

- [HA] (4V + 2 Ü) im 5. Semester (1. Semester MS).
- [AT],[AG] (4V + 2 Ü) im 6. Semester (2. Semester MS).
Themenbeispiele: *Algorithmische Geometrie* oder *Graphenal-
gorithmen* oder *Optimierung* oder *Parallele Algorithmen*
oder ...
- [CG],[SA], o.ä. Zumindest eine Vorlesung und ein Seminar im 7. & 8. Semester
(3. & 4. Semester MS).
Themenbeispiele aus den Anwendungsgebieten: *Muster-
erkennung* oder *Computer-Grafik* oder *Computer Aided
Design* oder *Robotik* oder *Bildverarbeitung* oder *Bioin-
formatik* oder ...
- [AA] (4 PR) Praktikum im 8. Semester.
- ★ anschließend *Diplomarbeit*.

Entsprechend den vorgehenden Vorschlägen werden Zyklen von einander ergänzenden Veranstaltungen angeboten. Am Beginn jedes Zyklus werden den behandelten Themen Kürzel zugewiesen und der Plan im Semesterheft angekündigt.

Übersicht über die Veranstaltungen dieses Semesters

In diesem Wintersemester wird die grundlegende Vorlesung *Höhere Algorithmik* [HA] angeboten, die Voraussetzung für jegliche weitere Arbeit im Studienschwerpunkt ist.

Im *Seminar über Algorithmen* [SA] werden voraussichtlich probabilistische Algorithmen in Tiefe behandelt.

Realisierung im Studienplan.

Die Realisierung innerhalb der bestehenden Studiengänge wird für Mathematik und Informatik getrennt behandelt.

Diplomstudiengang Mathematik.

Bei Teilnahme am Studienschwerpunkt wird Studenten der Mathematik die Belegung des Nebenfachs Informatik empfohlen.

- Grundstudium.

Auf jeden Fall sollte die *Elementare Wahrscheinlichkeitstheorie* besucht werden. Ein *Programmierkurs* ist Pflicht im Grundstudium. Die Vorlesungen *Informatik A* und *B* sind Teil der Nebenfachausbildung. Grundkenntnisse in diskreter Mathematik können durch einen möglichst frühen Besuch von *Kombinatorik* oder *Graphentheorie* erworben werden.

- Hauptstudium und Masterstudiengang.

Bei der Diplomprüfung in der Angewandten Mathematik wird neben Algorithmentheorie auch ein weiteres Gebiet (Wahrscheinlichkeitstheorie oder Numerik) geprüft.

Diplom- und Masterstudiengang Informatik.

- Grundstudium.

Die Grundkenntnisse werden durch die Lehrveranstaltungen *Algorithmen und Programmierung* und *Mathematik für Informatiker* abgedeckt.

- Hauptstudium.
[HA] & [AT] Anrechnung in Theoretische Informatik.
[AG] & [AT] & [FA] Anrechnung im Studienschwerpunkt/Vertiefungsgebiet.
Seminare: Anrechnung im Rahmen der mindestens 2 Seminare.

Bachelor-Studiengang Informatik.

Der Studienschwerpunkt kann hier als Vertiefungsgebiet gewählt werden. Dazu ist auf jeden Fall die Vorlesung “Höhere Algorithmik” ([HA]) zu belegen und eventuell eine weiterführende Vorlesung ([AT] oder [AG]) oder ein Seminar ([SA]).

2 Lehrveranstaltungen im Winter 2006/07

Vorlesungen

Höhere Algorithmik

[HA]

DOZENT: Alt; Vorlesungszeit: Mo 10–12 Uhr, Fr 10–12, 4-stündig.

Veranstaltungsort: Takustraße 9, SR 005.

Übungen Schulz, Scharf, M. Buchin, 2-stündig

Beginn: 20.10.2006

INHALT: Diese Veranstaltung ersetzt die bisherige Vorlesung “Entwurf und Analyse von Algorithmen” (EAA) auf einem etwas höheren Niveau und mit erweitertem Stoffumfang. Für Studenten des Diplomstudiengangs gelten die gleichen Regelungen wie bei EAA. Für Master-Studenten ist sie als Standard-Veranstaltung der theoretischen Informatik gedacht. Für Bachelor-Studenten wird sie (im Gegensatz zum bisherigen EAA) keine Pflichtveranstaltung mehr sein, kann aber im Rahmen des Vertiefungsgebiets belegt werden. Behandelt werden sollen Themen wie: Flussprobleme in Graphen, zahlentheoretische Algorithmen (einschließlich RSA Kryptosystem), String Matching, Approximationsalgorithmen für schwere Probleme, arithmetische Algorithmen und Schaltkreise einschließlich schnellerer Fourier-Transformation u.a.

LITERATUR: Cormen, Leerson, Rivest, Stein, Introduction to Algorithms (2. Aufl.), MIT Press, 2001 (auch in deutscher Übersetzung erhältlich), J. Kleinberg, E. Tardos, Algorithm Design, Pearson/Addison-Wesley 2000 und Originalliteratur

Algorithmen und Programmierung III: Datenstrukturen und Datenabstraktion

[Grundstudium]

DOZENT: Knauer; Vorlesungszeit: Di 14–16 Uhr, Do 14–16, 4-stündig.

Veranstaltungsort: Takustraße 9, Hörsaal.

Übungen N.N., 2-stündig.

Beginn: 17.10.2006

INHALT: Im 3. Semester des Zyklus Algorithmen und Programmierung werden Daten- und Programmstrukturen vertieft behandelt. Von grundlegender Bedeutung für die Strukturierung von Programmen und die Konstruktion von

Datenobjekten mittels Modulen oder Klassen ist das Kapselungsprinzip. Eine zentrale Rolle bei der Modellierung von Daten spielt der Begriff der Datenabstraktion verbunden mit der Unterscheidung zwischen Spezifikation und Implementierung abstrakter Datenobjekte und Datentypen. Mengen, Relationen, Listen, Bäume, Graphen u.a. werden als abstrakte Typen eingeführt. Anschließend werden effizient manipulierbare Repräsentationen dieser Typen betrachtet und die zugehörigen Algorithmen auf ihre Komplexität hin untersucht. Zu den für die Repräsentation verwendeten Verfahren und Datenstrukturen gehören Streuspeichertechniken, Geflechte und verschiedene Arten von Bäumen. In der objektorientierten Programmierung spielen neben der Datenabstraktion Vererbung und Polymorphie eine wesentliche Rolle. Wir werden daher abstrakte Datentypen häufig unter Verwendung von Vererbungsmechanismen spezifizieren und implementieren. Programmiert wird imperativ mit Java und funktional mit Haskell.

LITERATUR: R. H. Güting, S. Dieker: Datenstrukturen und Algorithmen, Teubner 2003

Cormen, Leiserson, Rivest: Algorithmen, Oldenbourg 2004

M.T. Goodrich, R. Tamassia: Data Structures and Algorithms in Java. Wiley 2004

R. Sedgewick: Algorithmen in Java. (Teil 1-4), Pearson 2003

Seminare, Praktika und sonstige Veranstaltungen

Seminar über Algorithmen

[SA]

DOZENT: Alt, Klost; Vorlesungszeit: Di 14–16 Uhr, 2-stündig.

Veranstaltungsort: Takustr. 9, SR 005.

Beginn: Vorbesprechung 17.10.2006

Diplomanden- und Doktorandenseminar

DOZENT: Alt, Knauer, Kriegel; Vorlesungszeit: Di, Do, Fr 12–13 Uhr, 3-stündig.

Veranstaltungsort: Takustraße 9, SR 055.

INHALT: Vorträge über eigene Forschung und Originalarbeiten aus der Theoretischen Informatik, insbesondere Algorithmen. Die Ankündigungen werden jeweils gesondert gegenüber Raum 111 in der Takustraße 9 ausgehängt.

Proseminar Theoretische Informatik [Grundstudium]

DOZENT: Knauer; Vorlesungszeit: Di 16–18 Uhr, 2-stündig.

Veranstaltungsort: Takustr. 9, SR 051.

Beginn: 16.10.2006

INHALT: Das Proseminar baut auf der Vorlesung 'Grundlagen der theoretischen Informatik' aus dem Sommersemester auf und behandelt fortgeschrittenere Themen der theoretischen Informatik.

LITERATUR: Wegener, Theoretische Informatik - eine algorithmische Einführung, Teubner 1993

Wegener, Kompendium theoretische Informatik - eine Ideensammlung, Teubner 1996.

Schöning, Theoretische Informatik - kurzgefasst, Teubner 1991.

Schöning, Perlen der Theoretischen Informatik, BI Wissenschaftsverlag 1995.

Praktikum zur Computergrafik [AA]

DOZENT: Alt, Scholz; Vorlesungszeit: Mi 10–12 Uhr, 2-stündig.

Veranstaltungsort: Takustraße 9, SR 005.

Beginn: Vorbesprechung 18.10.2006

INHALT: Implementierung von Computergrafiksystemen mit Techniken wie Ray-Tracing, Radiosity, etc.

Vorlesung des Graduiertenkollegs***Methods for Discrete Structures***

DOZENTEN: Alt, Rote u. Doz. des Kollegs; Vorlesungszeit: Mo 14–16 Uhr, 2-stündig.

Veranstaltungsort: abwechselnd FU (Seminarraum 005), HU, TU, ZIB.

INHALT: Die Dozenten und Gäste des Kollegs halten einführende Vorlesungen (in Blöcken von etwa 2–4 Stunden) zu speziellen Themen des Kollegs. Dazu gehören insbesondere algorithmische und diskrete Geometrie, algorithmische Kombinatorik, Codierungstheorie, Graphentheorie und Graphenalgorithmien, Gruppentheorie, kombinatorische Optimierung, konstruktive Approximation, Mustererkennung und zufällige diskrete Strukturen. Die Themen sowie die Veranstaltungsorte der Vorlesungen werden auch neben Raum 111 in der Taku-

straße 9 ausgehängt. Interessenten können sich im Sekretariat der Theoretischen Informatik, auf einen Verteiler für das Verschicken der Ankündigungen setzen lassen.

Kolloquium des Graduiertenkollegs

Methods for Discrete Structures

DOZENTEN: Alt u. Doz. des Kollegs; Vorlesungszeit: Mo 16–18 Uhr, 2-stündig. Veranstaltungsort: abwechselnd FU (Seminarraum 005), HU, TU, ZIB.

INHALT: Mitglieder und Dozenten des Kollegs sowie Gäste halten Vorträge zum Thema des Kollegs. Die einzelnen Vorträge im Kolloquium sowie die Veranstaltungsorte werden gesondert angekündigt. Interessenten können sich im Sekretariat der Theoretischen Informatik, auf einen Verteiler für das Verschicken der Ankündigungen setzen lassen. Die Ankündigungen werden auch neben Raum 111 in der Takustraße 9 ausgehängt.

Weitere Veranstaltungen an der Freien Universität

- Mustererkennung (VL); DOZENTen: Rojas.
- Einführung in Scientific Visualization(VL); DOZENT: Polthier.
- Data Management in Sensor Networks (VL); DOZENT: Voisard.
- Diskrete Mathematik (VL); DOZENT: Baumeister.

3 Bachelorarbeiten, Diplomarbeiten, Dissertationen, Projekte

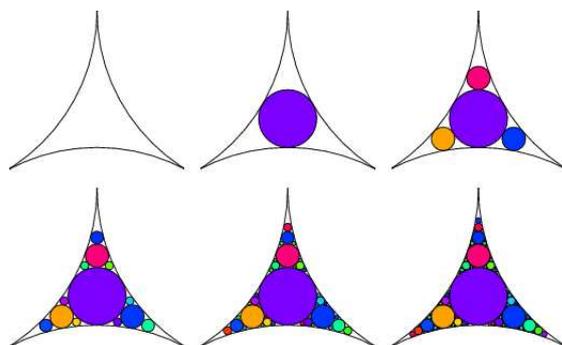
Die von der Arbeitsgruppe Theoretische Informatik behandelten Forschungsthemen werden an Bachelorarbeiten, Diplomarbeiten, Dissertationen und Projekten beispielhaft vorgestellt.

Bachelorarbeit: Überdeckung der Ebene durch Kreispackungen

Kandidat: *Leszek Mysliwiec*, Betreuer: *Günter Rote*

Mit einer Menge von disjunkten Kreisen kann man die Ebene nicht vollständig ausfüllen, selbst wenn man unendlich viele Kreise verwendet (siehe Abbildung). Selbst wenn man alle Kreise um den Faktor 1.00001 von ihrem Mittelpunkt aus aufbläst, wird die Ebene nicht überdeckt (es sei denn, die Packung enthält unbeschränkt große Kreise). In dieser Arbeit sollen die Parameter des Beweises dieser Aussagesorgfältig eingestellt werden, damit der Vergrößerungsfaktor größer wird, wobei der Beweis immer noch funktionieren und vielleicht sogar noch einfacher werden soll.

Diese Untersuchungen spielen eine Rolle beim Entwurf von guten Verbindungsnetzen in der Ebene, bei denen der "Umweg" zwischen zwei beliebigen Punkten des Netzes, bezogen auf die Luftlinie, nicht zu groß werden soll.



Bachelorarbeit: Isotopie zwischen Triangulierungen

Kandidat: *Julian Ruhe*, Betreuer: *Günter Rote*

Isotopie zwischen Triangulierungen.

Floater and Gotsman (1999) have given a morphing method between two triangulations that have the same combinatorial structure, based on directed Tutte embeddings.

The thesis investigates the freedom in choosing the starting weights, how it can be used for streamlining the morph, various ways to shorten the morphing path, and numerical aspects of solving the system of linear equations that arises.

Diplomarbeit: Registrierung von Punktmengen auf Flächen mit 3 charakteristischen Punkten

Diplomand: *Robert Hartmann*, Betreuer: *Christian Knauer*

Bei vielen Operationen werden computergestützte Navigationssysteme verwendet, um den Chirurgen während der Operation mit zusätzlichen Informationen zu versorgen. Die Diplomarbeit beschäftigt sich im Zuge des DFG-Projekts "Matching-Algorithmen zur Registrierung von Punktmengen in Flächen und Anwendungen zur medizinischen Navigation mit Trackingsystemen mit Szenarios bei denen *drei* so genannte charakteristische Punkte durch einen Chirurgen am Patienten während der Operation eingemessen werden. Diese Punkte werden verwendet, um die relative Position der verwendeten Instrumente im Operationsfeld anzuzeigen. Besonderes Augenmerk liegt bei dieser Anwendung auf einer Fehlerabschätzung und einer Laufzeit, welche den Einsatz während Operation ermöglicht. Diese Arbeit umfasst Entwurf, Analyse und Implementierung von Algorithmen, die diese Problemstellung mit sich bringt.

Diplomarbeit: Suchstrukturen für Formen

Diplomand: *Jonas Echterhoff*, Betreuer: *Helmut Alt*

In dieser Arbeit geht es um effiziente Datenstrukturen zum Verwalten von Formen. Wie genau der Begriff *Formen* definiert wird, ist dabei nicht einheitlich - viele der vorgestellten Systeme beschreiben eine Form über eine Bitmap der

Umrisse, oder direkt als ein Pixelbild, während andere die Umrisse als Polygon betrachten. Der hier vorgestellte Ansatz beschränkt sich dabei auf offene Kurven beziehungsweise Polygonzüge als Formen.

Nun interessieren wir uns für Datenstrukturen, in denen viele solche Formen verwaltet werden können, und die eine effiziente Suche nach Formen anhand einer gegebenen Form als Suchschlüssel erlauben. Zuerst wollen wir einige vorhandene Systeme und deren Funktionsweise betrachten, dann einen neuen Ansatz vorstellen und analysieren.

In diesem Ansatz wird versucht, den Verlauf der Wendefunktion eines Polygonzuges durch eine Einordnung in eine Baumstruktur zu repräsentieren. Zwei gleiche oder ähnliche Formen sollten dann möglichst in dem selben Blatt des Baumes gefunden werden. Zunächst wird versucht, einige mathematische Eigenschaften dieses Systems zu beweisen, dann wird das System implementiert und die Qualität der Suchergebnisse durch praktische Tests analysiert.

Diplomarbeit: Zufallsalgorithmus zur Bestimmung der Ähnlichkeiten zwischen zwei Oberflächen

Diplomandin: *Mojgan Mohajer*, Betreuer: *Helmut Alt* Der zu entwickelnde Zufallsalgorithmus zur Anpassung von zwei 3D-Objekten ist eine Erweiterung des Zufallsalgorithmus für 2D-Objekte, bei dem Figuren als Menge von Segmenten oder polygonalen Kurven dargestellt werden (siehe Dissertation von L. Scharf). Die 3D-Figuren sind dabei triangulierte Oberflächen. Die Funktionsweise des Algorithmus hat Ähnlichkeit mit der Hough-Transformation allerdings ist die Auswahl der Musterpunkte randomisiert. Die Hauptidee des Algorithmus ist, dass von jeder der zwei zu vergleichenden Figuren Musterpunkte M_1 und M_2 per Zufall ausgewählt werden. Aus den ausgewählten Punktemengen M_1 und M_2 wird eine Transformation (Verschiebung, Drehung und Skalierung) bestimmt, die diese ineinander überführt und es wird eine SSStimme für diese Transformation vergeben. Bei mehrmaliger Wiederholung

dieses Verfahrens beschreiben die Stimmen eine bestimmte Verteilung von Punkten im Transformationsraum. Die Transformation, in deren Umgebung eine maximale Häufigkeit auftritt, wird als geeignetste Transformation der beiden Figuren festgelegt.

Der hier vorgestellte Algorithmus wird im Rahmen einer Diplomarbeit in C++ und mit Hilfe von OpenGL implementiert.

Dissertation: Complex Tracing

Doktorandin: *Britta Broser*, Betreuer: *Helmut Alt*, *Ulrich Kortenkamp*

Hinter den Kulissen der Geometriesoftware *Cinderella* verbirgt sich eine elegante mathematische Theorie, die sich aus verschiedenen Bereichen zusammensetzt. Aus ihr ergeben sich Fragen zwischen Komplexitätstheorie und Geometrie, die zum Teil noch ungelöst sind.

In *Cinderella* werden geometrische Konstruktionen durch geometrische Straight-Line Programme (GSP) repräsentiert. Diese setzen sich aus freien Punkten und abhängigen Elementen wie z. B.

- der Verbindungsgeraden zweier verschiedener Punkte,
- dem Schnittpunkt zweier verschiedener Geraden,
- einer der beiden Winkelhalbierenden zweier Geraden,
- einer der höchstens zwei Schnittpunkte einer Geraden mit einem Kreis

zusammen. Eine Instanz eines GSP ist eine Zuweisung von festen Werten zu allen freien Punkten und Wahlen. Ein GSP entspricht also einer formalen Konstruktionsbeschreibung und eine Instanz einer konkreten Zeichnung in der Ebene.

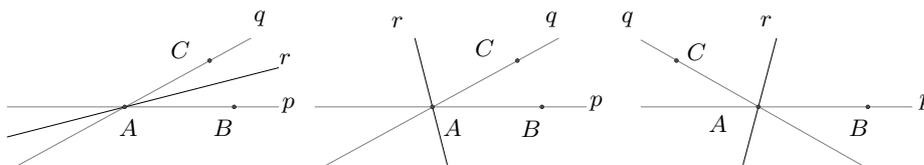


Abbildung 1: Drei verschiedene Instanzen des GSPs aus dem Beispiel

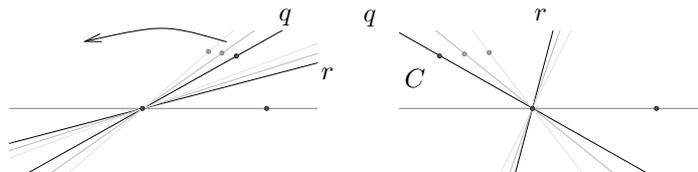


Abbildung 2: Die linke Instanz aus Abb. 1 kann „stetig“ in die rechte überführt werden.

Beispiel für ein GSP:

- $A \leftarrow FREE$ $\| \|$ A ist ein freier Punkt.
- $B \leftarrow FREE$ $\| \|$ B ist ein freier Punkt.
- $C \leftarrow FREE$ $\| \|$ C ist ein freier Punkt.
- $p \leftarrow JOIN(A, B)$ $\| \|$ p ist die Gerade durch A und B .
- $q \leftarrow JOIN(A, c)$ $\| \|$ q ist die Gerade durch A und C .
- $r \leftarrow BISECT(p, q)$ $\| \|$ r ist Winkelhalbierende von p und q .

Abbildung 1 zeigt drei Instanzen dieses GSPs. Man sieht leicht, daß die linke Instanz „stetig“ in die rechte überführt werden kann (s. Abb. 2). Im allgemeinen ist es jedoch nicht immer möglich, eine vorgegebene Instanz „stetig“ in eine weitere vorgegebene Instanz zu überführen. In [1] wird gezeigt, daß das sogenannte „Reachability Problem“ NP-schwer ist.

Die Komplexität des selben Problems im Komplexen (d.h. die Koordinaten der freien Punkte und der abhängigen Elemente dürfen Werte aus \mathbb{C} annehmen) ist hingegen noch unbekannt.

Ein weiteres Problem ist das „Tracing Problem“, das mit dem Reachability Problem verwandt ist. Hier liegt die gleiche Situation vor: In [1] wird gezeigt, daß es im Reellen NP-schwer ist, und die Komplexität im Komplexen ist un-

bekannt. Das sogenannte „Complex Tracing“ könnte z.B. für das automatische Beweisen oder das Umgehen von Singularitäten in *Cinderella* verwendet werden.

LITERATUR: J. Richter-Gebert, U. Kortenkamp, *Complexity Issues in Dynamic Geometry*, Proceedings of the Smale Fest 2000, 2001.

Dissertation: Algorithmen zur Bestimmung von Symmetrien

Doktorandin: *Claudia Klost* Betreuer: *Helmut Alt*

Figuren, die für den menschlichen Betrachter ähnlich erscheinen, haben oft die gleiche Symmetriegruppe. Daher könnten Algorithmen zur Bestimmung von Symmetrien verwendet werden, um aus einer Menge von Figuren diejenigen auszusuchen, die einer gegebenen Figur ähnlich sind.

Eine Figur \mathcal{F} heißt symmetrisch, wenn es eine Transformation α gibt, die die beiden folgenden Eigenschaften hat:

1. Sie erhält Abstände: $d(P, Q) = d(\alpha(P), \alpha(Q))$, f. a. $P, Q \in \mathcal{F}$, wobei d eine Abstandsfunktion ist.
2. Sie bildet die Figur auf sich selber ab: $\alpha(\mathcal{F}) = \mathcal{F}$

Die drei folgenden Transformationen erfüllen die oben genannten Eigenschaften und werden daher für die Charakterisierung verschiedener Symmetriegruppen verwendet:

1. Spiegelungen
2. Rotationen
3. Translationen

Eine Figur, die rotations- oder spiegelsymmetrisch ist, ist endlich. Im Gegensatz dazu muss eine Figur, die translationssymmetrisch ist immer unendlich sein.

Eine Figur, die nur rotationssymmetrisch ist, hat die Symmetriegruppe C_n , mit $n = \frac{2\pi}{\theta}$ und θ ist der Rotationswinkel. Ist eine Figur sowohl rotations- als auch spiegelsymmetrisch, wird die Symmetriegruppe mit D_n bezeichnet.

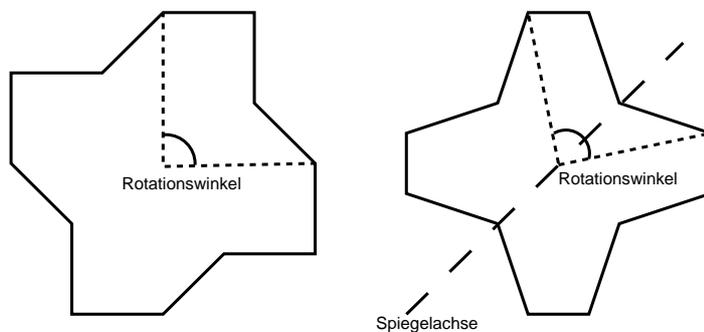


Abbildung 1: Symmetriegruppe C_4 (links) bzw. D_4 (rechts)

Bei den unendlichen Figuren unterscheidet man zwischen zwei Klassen von unendlichen Figuren: Einerseits werden die Figuren betrachtet, die nur Translationen in eine Richtung, andererseits solche, die Translationen in zwei Richtungen beinhalten.

Die Symmetriegruppen der ersten Klasse von unendlichen Figuren sind die Friesgruppen (frieze groups). Es gibt sieben verschiedene Friesgruppen, je nachdem, welche weiteren Symmetrien das Grundmuster der Friesgruppe aufweist.

Die Tapetenmustergruppen (wallpaper groups) bezeichnen die Symmetriegruppen der zweiten Klasse von unendlichen Figuren. Es gibt siebzehn verschiedene Tapetenmustergruppen.

Wird der Rand einer rotationssymmetrischen Figur mit Symmetriegruppe C_n in gleichmäßigen Winkelabständen um den Schwerpunkt der Figur abgetastet, so ergibt sich eine Funktion mit Periode n . Diese Funktion kann mit Hilfe der diskreten Fouriertransformation analysiert werden, und auf Grund dieser Ergebnisse können Rückschlüsse auf die Symmetriegruppe der Figur gezogen werden.

Es stellt sich nun die Frage, in wie weit dieser Ansatz auch auf Figuren ausgeweitet werden kann, die eine der Fries- bzw. Tapetenmustergruppen als Symmetriegruppe haben.

Dissertation: Topologie von Konturen d–dimensionaler Funktionen

Doktorand: *Tobias Lenz*, Betreuer: *Günter Rote*

In vielen wissenschaftlichen Gebieten spielt die Visualisierung von Daten eine zunehmende Rolle. Dabei werden Werte an sehr vielen fixen Positionen gemessen, z.B. die Höhe über dem Meeresspiegel für einen bestimmten Landstrich, aus dem Körper austretende elektromagnetische Wellen in einem Kernspinresonanztomographen oder Hitze in einer Brennkammer. Die Daten liegen als Paare von Punkten in einer bestimmten Dimension und den dazugehörigen Messwerten vor und ihre Anzahl kann bei sehr detaillierten Messungen durchaus Größenordnungen von einigen Millionen annehmen.

Derartige Datenmengen können nicht in Echtzeit durchsucht werden, so dass man geeignete Datenstrukturen verwenden muss, um effizient bestimmte Teilmengen zu erhalten. Eine wichtige Teilmenge ist hierbei die Menge aller Punkte, die einen bestimmten Wert haben — so genannte Isolinien bzw. Isoflächen oder auch Konturen.

Untersucht man eine solche Kontur, so stellt sich diese sehr vielgestaltig dar, kann zusammenhängend oder in viele Teile zerlegt sein, Tunnel bilden, Hohlräume einschließen und vieles mehr. Ein Beispiel für eine dreidimensionale Kontur aus einer vierdimensionalen Datenmenge ist auf dem Bild zu sehen. Diese errechnete topologische Struktur liefert in Form der so genannten Betti-Zahlen eine sinnvolle Gruppierung der Objekte.



Bei praktischen Messungen ist immer ein gewisser Fehler enthalten — auch als “Rauschen” bekannt. Dieses Rauschen kann bereits empfindlichen Einfluss auf die geschilderten topologischen Eigenschaften der Konturen haben, so dass ein Verfahren benötigt wird, um relevante Eigenschaften zu erkennen und zu extrahieren. Dieses Verfahren wird entwickelt und untersucht. In Experimenten hat sich herausgestellt, dass dieses Verfahren evtl. auch für effiziente Suchanfragen in geometrischen Datenbanken anwendbar ist.

Dissertation: Vergleich von Bildern und Konturen mit Hilfe von Referenzpunkten

Doktorand: *Oliver Klein* Betreuer: *Günter Rote*

Der Vergleich von Bildern und Konturen ist in vielen Anwendungen von grundlegender Bedeutung. Sei zu einer gegebenen Menge von Bildern oder Konturen $\mathcal{K} \subset \mathbb{R}^d$ ein Abstandsmaß $\delta : \mathcal{K} \times \mathcal{K} \rightarrow \mathbb{R}_0^+$ definiert. In den betreffenden Anwendungen ist es meist notwendig, den Abstand der Bilder nicht nur in einer fixierten Lage zu berechnen, sondern auch Transformationen von mindestens einem der beiden Bilder zuzulassen. Eine Transformation kann dabei zum Beispiel eine Verschiebung, eine Kongruenzabbildung, d.h. Verschiebung und Drehung, oder aber auch eine Ähnlichkeitsabbildung, d.h. eine Kongruenzabbildung in Verbindung mit einer Skalierung, sein. Wir sind nun an dem minimalen Abstand interessiert, der erreicht werden kann, falls eins der beiden Bilder beliebig innerhalb der entsprechenden Transformationsklasse \mathcal{T} verändert werden darf.

Da die Berechnung dieses minimalen Abstands in den meisten Fällen sehr aufwendig ist, beschäftigen wir uns mit der Approximation der Abstände mit Hilfe von δ -Referenzpunkten. Ein δ -Referenzpunkt ist dabei eine Lipschitzstetige Funktion $r : \mathcal{K} \rightarrow \mathbb{R}^d$ die mit den Transformationen in \mathcal{T} vertauschbar ist, genauer:

1. $\forall A \in \mathcal{K} \quad \forall T \in \mathcal{T} : r(T(A)) = T(r(A))$
2. $\forall A, B \in \mathcal{K} : \|r(A) - r(B)\| \leq c \cdot \delta(A, B)$

Durch die verwendete Funktion $\|\cdot\| : \mathbb{R}^d \rightarrow \mathbb{R}_0^+$ sei hier ein Abstandsmaß auf \mathbb{R}^d beschrieben. In diesem Zusammenhang wird die Lipschitzkonstante c als Qualität des Referenzpunktes bezeichnet.

Wir beschäftigen uns derzeit mit dem Auffinden von Referenzpunkten für verschiedene Mengen von Bildern und Konturen \mathcal{K} und Abstandsmaßen δ . Eine weitere Aufgabe besteht natürlich darin, die gefundenen Referenzpunkte dazu zu benutzen, Approximationsalgorithmen zu erstellen und die Güte der Algorithmen zu analysieren. Genauer sollen diese Algorithmen schnell eine Transformation $\Phi^* \in \mathcal{T}$ finden, so dass

$$\delta(A, \Phi^*(B)) \leq \alpha \cdot \min_{\Phi \in \mathcal{T}} \delta(A, \Phi(B)), \quad (1)$$

wobei $\alpha \in \mathbb{R}^+$ eine Konstante unabhängig von der konkreten Wahl der Bilder A und B darstellt. In diesem Zusammenhang wird nun α als der Approximationsfaktor des gefundenen Algorithmus bezeichnet.

Zu einer vollständigen Analyse des oben beschriebenen Ansatzes zu einer bestimmten Klasse \mathcal{K} von Bildern gehört natürlich auch die Entscheidung, ob es bessere Algorithmen und Referenzpunkte geben kann, oder der Beweis, dass die Qualität des gefundenen Referenzpunktes und der Approximationsfaktor des konstruierten Algorithmus optimal ist.

Dissertation: Entwurf und Analyse von Algorithmen für die stochastische Geometrie

Doktorand: *Kevin Buchin* Betreuer: *Günter Rote*

In der stochastischen Geometrie werden mathematische Modelle zur Beschreibung zufälliger geometrischer Strukturen untersucht. Algorithmen auf solchen Strukturen sollten im Mittel ein gutes Laufzeitverhalten aufweisen. Dazu müssen Eigenschaften der zufälligen Strukturen analysiert und für den Entwurf des Algorithmus genutzt werden.

Oft ergeben sich solche Strukturen als Graphen auf einer zufälligen Punktmenge in einem euklidischen Raum, beispielsweise die kürzeste Strecke durch diese Punkte oder deren Delaunay Triangulierung (Abb. 1). Insbesondere sind Algorithmen von Interesse, die diese Strukturen ausgehend von der Punktmenge finden bzw. erzeugen.

Für die Erzeugung der Delaunay Triangulierung wurde ein Algorithmus entworfen und analysiert, der lineare erwartete Laufzeit hat für Punkte, die uniform und unabhängig in einem konvexen Gebiet verteilt sind. Die Punkte werden in Runden eingefügt, wobei jedem Punkt zufällig eine Runde zugeordnet wird. Innerhalb einer Runde werden die Punkte entlang einer raumfüllenden Kurve sortiert (Abb.2).

Der Algorithmus kombiniert zwei komplementäre Einfügestrategien: Durch die zufällige Zuordnung zu Runden werden die Punkte gleichmäßig verteilt eingefügt und dadurch die Zahl der Dreiecke, die unnötig erzeugt werden, beschränkt. Die Sortierung entlang einer raumfüllenden Kurve führt dazu, dass aufeinanderfolgende Punkte nah aneinander liegen und dadurch schneller in

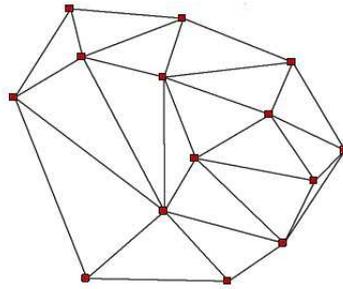


Abbildung 1: Delaunay Triangulierung von zufälligen Punkten in einem Quadrat

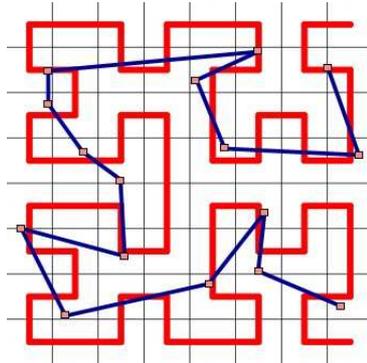


Abbildung 2: Sortierung einer Punktmenge entlang einer raumfüllenden Kurve

der Delaunay Triangulierung lokalisiert werden können. Die für die Laufzeit wichtige Größe, die so beschränkt werden kann, ist die Anzahl der Schnitte zwischen der Tour durch die einzufügenden Punkte und der Delaunay Triangulierung der bereits eingefügten Punkte.

Dissertation: Der Fréchet-Abstand von triangulierten Flächen

Doktorandin: *Maike Buchin* Betreuer: *Helmut Alt*

Der Fréchet-Abstand ist ein Abstandsmaß für parametrisierte Kurven und Flächen, welches den Verlauf der Kurven bzw. Flächen berücksichtigt. Wir

interessieren uns dabei für endlich beschreibbare Kurven und Flächen, und zwar für polygonale Kurven und triangulierte Flächen. Zur Berechnung des Fréchet-Abstands von polygonalen Kurven haben H. Alt und M. Godau einen polynomiellen Algorithmus entwickelt. Für den Fréchet-Abstand von triangulierten Flächen hat M. Godau für das Entscheidungsproblem NP-Schwerheit gezeigt. Offene Fragen sind die nach der Berechenbarkeit oder einem Approximationsalgorithmus. Ein möglicher Ansatz für einen Approximationsalgorithmus ist eine diskrete Approximation. Für polygonale Kurven ist dies unter Ausnutzung der Linearität des Parameterraums möglich. Ob sich der Fréchet-Abstand für Flächen auf ähnliche Weise diskret approximieren lässt, ist eine offene Fragestellung an der wir momentan arbeiten.

Dissertation: Probabilistische Methoden zum Vergleich von Formen

Doktorandin: *Ludmila Scharf* Betreuer: *Helmut Alt*

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung neuer Methoden zum Vergleich von Formen für die Bildsuche in großen Datenbanken.

Die Form wird durch eine Menge von Polygonzügen in der Ebene modelliert. Die zulässigen Transformationen sind Translationen, starre Bewegungen (Translationen und Rotationen) und Ähnlichkeitsabbildungen (Translationen, Rotationen und Skalierungen). Die allgemeine Problemstellung ist folgende: gegeben zwei Formen A und B und die Klasse der zulässigen Transformationen, finde die Transformation, unter der B ähnelt A am meisten, wobei die Ähnlichkeit möglichst gut der menschlichen Wahrnehmung entsprechen soll.

Wenn die komplette Form B mit der kompletten Form A verglichen wird, sprechen wir von *komplett-komplett Matching*. Ferner betrachten wir das *komplett-partiell Matching*, also wenn die ganze Form B einem Teil der Form A entspricht, und *partiell-partiell Matching* wenn wir die größten Teile in den beiden Formen finden wollen, die einander ähnlich sind. Die beste Übereinstimmung ist im Fall von partiellen Matching nicht eindeutig definiert, denn es muss ein Kompromiss zwischen Genauigkeit der Übereinstimmung und Größe der übereinstimmenden Teile getroffen werden. Welches der beiden Kriterien wichtiger ist hängt von der Anwendung ab.

Die Algorithmen, die wir in dieser Arbeit entwickeln, sollen möglichst gut der

menschlichen Wahrnehmung entsprechen und effizient implementierbar sein. Die vorgeschlagene Methode minimiert nicht eine bestimmte, bzw. bekannte Abstandsmetrik, sondern findet eine oder mehrere Kandidaten für Transformationen, die, wenn angewandt auf die Form B , die ähnlichen Teile der beiden Formen übereinander bringen.

Dissertation: Approximation von Kurven und 3 Dimensionalen Oberflächen

Doktorandin: *Astrid Sturm* Betreuer: *Günter Rote*

In zahlreichen Anwendungen besteht die Notwendigkeit, gegebene geometrische Objekte zu approximieren. Approximationen von Kurven durch stückweise lineare Kurven sind ein in der Literatur breit beschriebenes Thema. In dieser Arbeit werde ich mich mit der stückweisen Approximation von Kurven durch Kurvenstücke höherer Ordnung befassen. Auch hier findet man in der Literatur Algorithmen beschrieben, z. B. zur Approximation von polygonalen Kurven durch Biarcs. Eine Gemeinsamkeit aller dieser Algorithmen ist das Fehlen von Garantien, z.B. Schranken für die Anzahl der Kurvenstücke der Ergebniskurve. Zudem werde ich in dieser Arbeit versuchen, diese Lücke zu schließen. Ein weiterer Ansatzpunkt ist die Approximation von glatten Kurven durch Kurvenstücke höherer Ordnung, z.B. biarc splines oder parabolic splines. So erreicht man eine Approximation der Kurve mit weniger Kurvenstücken als bei einer stückweise linearen Approximation bei Gewährleistung der gleichen Fehlertoleranz. Hier liegen einige theoretische Ergebnisse vor, die noch zu erweitern sind. Vor allem sind keine Algorithmen bekannt, um eine solche Approximation vorzunehmen.

Die gewonnenen Erkenntnisse in 2D möchte ich dann nutzen, um Methoden für die stückweise lineare Approximation von speziellen Klassen von Oberflächen zu entwickeln. Hiermit sind zum Beispiel konvexe Oberflächen und Oberflächen mit negativer Krümmung und beschränktem Krümmungstensor gemeint.

Dissertation: Ähnlichkeit von Formen

Doktorand: *Sven Scholz* Betreuer: *Helmut Alt*

Für die menschliche Wahrnehmung spielen Formen eine große Rolle und die Anwendungsbereiche in denen Formen in Bildern verwendet werden sind vielfältig (Piktogramme, Firmenlogos ...). Die Ähnlichkeit solcher Bilder hängt stark von der Ähnlichkeit der verwendeten Formen ab. Diese Arbeit soll dazu beitragen, die Ähnlichkeit anhand der Formen bestimmen zu können, wobei das Ähnlichkeitsmaß möglichst gut der menschlichen Wahrnehmung entsprechen soll.

Eine Form kann durch eine Menge von Menge von Polygonzügen in der Ebene oder auch durch eine Menge von polygonalen Flächen in der Ebene modelliert sein. Bei vielen Ansätzen wird aus den Bildern oder Formen eine Anzahl k von Eigenschaften extrahiert und dann wird der Abstand der Eigenschaftsvektoren im k -dimensionalen Raum als Grundlage zur Ähnlichkeitsbestimmung verwendet. Ein völlig anderer Ansatz besteht darin, eine Transformation zu finden, die die eine Form möglichst gut auf die andere Form abbildet und dann die Eigenschaften der Transformation und / oder den Grad der Übereinstimmung der so aufeinander abgebildeten Formen auszuwerten. Es ist aber auch möglich die Form durch Primitive und deren Relationen zu beschreiben und dann Korrespondenzen zwischen den Beschreibungen zu bestimmen.

Maßgebliche Kriterien für alle diese Ansätze sind dabei einerseits die Qualität der Ergebnisse verglichen mit der menschlichen Wahrnehmung und die Frage ob sich effiziente Algorithmen zur Berechnung finden lassen.

Dissertation: Matching-Algorithmen zur Registrierung von Punktmengen in Flächen und Anwendungen zur medizinischen Navigation

Doktorand: *Fabian Stehn* Betreuer: *Christian Knauer*

Eine steigende Anzahl neurochirurgischer Eingriffe werden mit Hilfe von elektromagnetischen oder optischen Tracking-Systemen durchgeführt. Solche Systeme unterstützen den Chirurgen während einer Operation, indem sie zusätzliche Informationen zur Verfügung stellen, wie die Position der verwendeten Instru-

mente im Patienten. Die Instrumente werden in ein dreidimensionales Modell des Patienten projiziert, welches zuvor mittels eines CT- oder MRT Scans erstellt wurde.

Dies setzt voraus, dass die Abbildung, welche das Koordinatensystem des Operationsfeldes in das des 3D-Modells transformiert bekannt ist. Diese Arbeit untersucht neuartige Lösungen für dieses Problem, welche ohne die Nachteile der bekannten Verfahren auskommen. Bei diesen Ansätzen werden so genannte charakteristische Punkte verwendet, welche die Registrierung des Operationsfeldes in das Koordinatensystem des Modells ermöglichen. Diese ausgezeichneten Punkte werden während der Operation von dem Chirurgen auf dem Patienten eingemessen. Bei der anschließenden Registrierung werden diese Punkte nahe an ihre entsprechenden Gegenstücke in dem Modell gebracht. Daraufhin werden zur Verbesserung der Registrierung zusätzliche Eigenschaften (Punkte) des Patienten auf die Oberfläche des Modells bewegt.

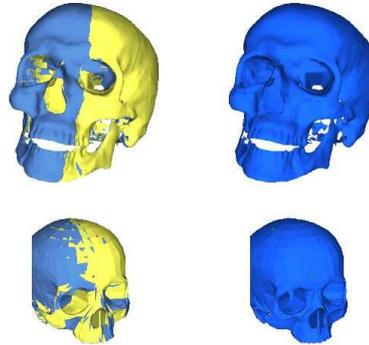


Abbildung 1: Registrierung vom Operations- ins Modellkoordinatensystem

Projekt: Fluoroskopiebasierte, virtuelle Navigation in der Neurochirurgie

Helmut Alt, Christian Knauer, Robert Günzler, Frank Hoffmann, Klaus Kriegel.

Dieses Projekt ist eine Forschungskooperation des Instituts für Informatik der FU Berlin mit der Firma Schaefer-Mayfield-Technologies.

Bei neurochirurgischen Eingriffen an der Wirbelsäule wird die Fluoroskopie als bildgebendes Verfahren eingesetzt, um die räumliche Lage von chirurgischen Instrumenten und Operationsmaterialien (Nägel oder Schrauben) zu erkennen und im Bedarfsfall zu korrigieren. Als Aufnahmegeräte dienen mobile Röntgengeräte, sogenannte C-Bögen. In der bisherigen Praxis müssen solche Aufnahmen während einer OP häufig wiederholt werden, teilweise werden ganze Arbeitsabläufe wie das Ausrichten einer Schraube unter Bestrahlung

ausgeführt. Das führt zu einer hohen Strahlenbelastung für den Patienten und den Operateur sowie zu Zeitverlusten durch die Unterbrechung des eigentlichen OP-Verlaufs.

Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer Methode zur Vermeidung dieser Nachteile. Da bei dieser Technik Instrumente und Materialien mit algorithmischen Methoden in vorher aufgenommene Fluoroskopiebilder projiziert werden, spricht man von einer virtuellen Navigation. Wichtigstes Hilfsmittel zur Realisierung dieses Ziels ist ein Trackingsystem, mit dem die Position und Orientierung von chirurgischen Instrumenten im OP-Feld ständig gemessen wird. Die Grundidee besteht darin, das zu behandelnde anatomische Objekt (z.B. ein Wirbelkörper) und das chirurgische Instrument gleichzeitig mit dem Trackingsystem zu erfassen und somit ihre relative Lage zueinander zu bestimmen. Kennt man zusätzlich die relative Lage des C-Bogens zum anatomischen Objekt während der Aufnahme, ist die Projektion des Instruments in das Bild eine einfache Aufgabe. Das noch zu lösende Problem besteht also in der Bestimmung der relativen Lage des C-Bogens zum anatomischen Objekt. Von Joskowicz et al. wurde eine Methode beschrieben, bei der die Positionen des C-Bogens und des Objekts direkt mit dem Trackingsystem gemessen werden. Der Vorteil, das Problem auf eine algorithmisch gut beherrschbare Aufgabe zu reduzieren, die man in Realzeit lösen kann, wird durch einen höheren Anspruch an die technische Realisierung erkauft: Das direkte Tracken des C-Bogens ist für elektromagnetische Systeme problematisch, da deren Messgenauigkeit nur im unmittelbaren OP-Feld optimal ist. Bei der Verwendung von optischen Systemen ist der Bewegungsraum des C-Bogens durch Sichtbarkeitsprobleme eingeschränkt. Darüber hinaus addieren sich die Fehler von zwei Messungen, nämlich am C-Bogen und am Objekt.

Die in diesem Projekt entwickelte Herangehensweise vereinfacht die technische Umsetzung mit Hilfe einer aufwendigeren algorithmischen Lösung. Sie basiert auf einem speziell entworfenen 3-dimensionalen Punktmuster, dem sogenannten Phantom, das während der Bildakquisition in einer bestimmten Position zum anatomischen Objekt befestigt wird. Das Design des Phantoms erlaubt es, seine Lage im Strahlengang aus der Projektion des Punktmusters im Bild zu berechnen. Dieser neuartige Zugang zeichnet sich durch ein hohes Maß an Flexibilität und Fehlertoleranz aus. Das Verfahren kann für beliebige C-Bögen eingesetzt werden. Es können optische und prinzipiell auch elektromagnetische Trackingsysteme eingesetzt werden (sofern die Messgenauigkeit letzterer nicht zu stark durch den C-Bogen eingeschränkt wird). Werden von den zehn Phan-

tompunkten bis zu zwei nicht oder fehlerhaft detektiert, so kann dies erkannt und behandelt werden. Die Genauigkeit der berechneten, virtuellen Navigation hängt im Wesentlichen nur von der Messgenauigkeit des Trackingsystems ab. Die Position des zu behandelnden Wirbels im Raum muss dabei nicht als starr vorausgesetzt werden muss.

Projekt: ACS (Algorithms for Complex Shapes with certified topology and numerics)

Günter Rote, Astrid Sturm.

In Zusammenarbeit mit INRIA Sophia Antipolis, ETH Zürich, Universität Groningen, MPI für Informatik, Saarbrücken, National Kapodistrian University of Athens (NUA), Universität Tel-Aviv, The GeometryFactory (GF).

Ziel des ACS Projektes ist die Weiterentwicklung der Methoden zur Behandlung komplexer, geometrischer Objekte über den aktuellen Stand hinaus. Momentan sind gängige Methoden für Kurven in der Ebene, sowie glatte Oberflächen im 3-dimensionalen Raum vorhanden. Innerhalb des Projektes werden sich die Partner zum Beispiel unter anderem mit stückweise glatten Oberflächen, Oberflächen mit Singularitäten, sowie mit Mannigfaltigkeiten mit Codimension grösser als eins in gemässigt höheren Dimensionen auseinandersetzen.

Aufgrund der ständig wachsenden Anforderung an Anwendungen benötigen diese robuste und effiziente Algorithmen für komplexe, geometrische Objekte. Hieraus ergeben sich Fragestellungen, die im Projekt bearbeitet werden, zum Beispiel: Oberflächen-Approximation (einschliesslich Meshing und Vereinfachung), Rekonstruktion der Oberfläche und Extraktion der Charakteristika, sowie robustes Modellieren (einschliesslich boolescher Operationen). Alle diese Themen sind eng verbunden mit Grundlagenforschung im Bereich der Oberflächen-Representation.

Die Einzigartigkeit in den Zielen des Projektes liegt unter anderem in der Garantie der Qualität aller Datenstrukturen und der Algorithmen die entwickelt werden. Aufgrund von zertifizierter Topologie und zertifizierten numerischen Operationen werden Ergebnisse im Rahmen vordefinierter Kriterien topologisch und numerisch konsistent sein.

Projekt: Profi (Perceptually-relevant Retrieval Of Figurative Images)

Helmut Alt, Ludmila Scharf.

In Zusammenarbeit mit Utrecht University, University of York, Actor Knowledge Technology.

Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung neuer bildsuchender Verfahren für große Datenbanken. Unsere Methoden basieren auf Extraktion und Vergleich wahrnehmungsrelevanter Merkmale der Formen, was die Einschränkungen existierender Verfahren überwinden soll. In diesem Projekt entwickeln und analysieren wir Algorithmen für:

- wahrnehmungsbezogene Segmentierung der Bilddaten und Zusammenfassung der Formmerkmale;
- Vergleich geometrischer Objekte, die den Formmerkmalen entsprechen;
- Partieller Vergleich: Anpassung eines Teils der Form einem Teil der anderen Form;
- Indexierung der Formmerkmale in einer großen Datenbank mit Bilddaten;
- Indexierung relativer Anordnung der Formmerkmale in einem Bild.

Die im Rahmen des Projekts entwickelten Algorithmen werden in einem Prototyp-System umgesetzt und experimentell, anhand der vorher unabhängig bewerteten Daten verifiziert.

Projekt: Matching-Algorithmen zur Registrierung von Punktmengen in Flächen und Anwendungen zur medizinischen Navigation mit Trackingsystemen

Christian Knauer, Klaus Kriegel.

Zur Unterstützung von verschiedenen neurochirurgischen Eingriffen wurden elektromagnetische und optische Trackingsysteme entwickelt, mit denen eine

relativ genaue räumliche Bestimmung von Instrumenten im Operationfeld vorgenommen werden kann. Diese Systeme ermöglichen eine Navigation bezüglich eines vorher mit CT oder MR erstellten 3-dimensionalen Modells. Voraussetzung dazu ist aber, dass die räumliche Transformation der realen Umgebung in das Koordinatensystem des Modells bekannt ist. Das Problem konnte durch den Einsatz von Markern gelöst werden, wodurch leider auch das Anwendungsspektrum wesentlich eingeschränkt wird.

Ziel des Projekts ist es, die Navigationstransformation ohne Marker zu bestimmen. Diese Aufgabenstellung lässt sich auf das folgende Matching-Problem zurückführen: Für eine gegebene Punktmenge im Raum (eingemessene Punkte aus dem Operationsfeld) und eine Fläche (Modell) ist die starre Transformation zu bestimmen, welche Punktmenge so dicht wie möglich an die Fläche abbildet. Die bekannten Ansätze zur Lösung dieses Problems basieren auf heuristischen Verfahren (z.B. ICP, Simulated Annealing). Man kann dabei im Allgemeinen gute Ergebnisse erzielen, hat aber keine Gütegarantien. Gerade für medizinische Anwendungen sind solche Garantien aber sehr wichtig. Deshalb wird die Lösung dieses äußerst anspruchsvollen algorithmischen Problems mit heuristikfreien Methoden aus der algorithmischen Geometrie angestrebt.

Besondere Beachtung soll den folgenden Aspekten gewidmet werden:

1. **Vorverarbeitung:** Generell soll die Navigationsabbildung mit geometrischem Hashing bestimmt werden. Durch Vorverarbeitung des Modells (die nicht zeitkritisch ist) werden geeignete Datenstrukturen zur Unterstützung dieser Technik aufgebaut.
2. **Zusatzinformationen:** Besonders charakteristische Punkte auf der Fläche werden bei der Vorverarbeitung berechnet und im Modell angezeigt. Die Einmessung eines oder mehrerer charakteristischer Punkte, reduziert die Komplexität des Problems erheblich.
3. **Mehrdeutigkeit:** Ist die eingemessene Information nicht ausreichend zur eindeutigen Bestimmung einer Transformationsabbildung, wird eine Liste aller möglichen Transformationen erstellt.
4. **Inkonsistenz:** Wenn keine mit den gemessenen Daten (in einem vorgegebenen Fehlerbereich) konsistente Transformationsabbildung existiert, wird geprüft, ob ein einzelner Messfehler dafür verantwortlich sein kann.

Fälle, in denen drei oder mehr charakteristische Punkte eingemessen wurden, lassen sich leicht auf die bereits für das Markermodell entwickelten Methoden zurückführen. Deshalb konzentriert sich die erste Projektphase auf den Fall mit zwei charakteristischen Punkten.

Projekt: Suchstrukturen für Geometrische Muster

Helmut Alt, Christian Knauer.

Das zentrale Problem der geometrischen Mustererkennung lässt sich folgendermaßen formalisieren: gegeben sind zwei geometrische Objekte (wie z.B. Polygonzüge) A und B – die Muster – und es soll festgestellt werden, wie ähnlich diese zueinander sind. Üblicherweise darf eines der Objekte dabei durch eine geometrische Abbildung (z.B. Translation, Rotation) transformiert werden, damit es dem anderen Objekt möglichst ähnlich wird. Die Ähnlichkeit von zwei Mustern wird dabei durch eine geeignete Abstandsfunktion bewertet (wie z.B. den Hausdorff-Abstand).

In vielen Anwendungen steht man speziell vor dem Problem, aus einer Menge von geometrischen Mustern (der *Datenbank*) ein Muster zu finden, das möglichst ähnlich zu einem Anfragemuster ist; wieder darf eventuell das Anfragemuster dabei transformiert werden. Wenn es sich um eine große Datenbank handelt, ist es nicht praktikabel, das Anfragemuster mit allen Mustern der Datenbank einzeln zu vergleichen. Stattdessen möchte man die Muster aus der Datenbank vorverarbeiten, und eine Suchstruktur aufbauen, um dann schnell eine Anfrage beantworten zu können.

Die Bedeutung dieser Fragestellung spiegelt sich in der Vielzahl kommerzieller und akademischer sogenannter Image-Retrieval-Systeme (IRS) wider, die in den letzten zehn Jahren entwickelt wurden, wie z.B. das QBIC System von IBM, die Princeton 3D Model Search Engine, PicHunter, Blobworld, oder das ASSERT System. Keines dieser Systeme kann voll überzeugen, geschweige denn ist es in der Lage, den menschlichen Erkennungsprozess nachzuahmen.

Eine Ursache für die Unzulänglichkeiten der untersuchten IRS liegt darin, dass *keines* die geometrische Form von Objekten direkt zur Ähnlichkeitsbewertung verwendet. Stattdessen finden merkmalsbasierte Verfahren Anwendung, die “einfachere“ Eigenschaften wie Farbe, Textur, Fläche, etc. heranziehen. Der di-

rekte Vergleich von Formen stellt daher nach wie vor ein schwieriges ungelöstes Problem dar zu dessen Lösung es weiterer Grundlagenforschung bedarf.

In dem Projekt soll untersucht werden, wie sich Methoden der algorithmischen Geometrie und der geometrischen Mustererkennung beim Entwurf von *Suchstrukturen für geometrische Muster* anwenden lassen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Entwicklung effizienter Algorithmen für die jeweiligen Probleme. Es ist auch beabsichtigt, einige der entwickelten Verfahren zu implementieren und auf realen Daten zu testen. Insbesondere sollen die neu entwickelten Methoden untereinander und mit bereits existierenden Systemen und Lösungen verglichen werden.

Projekt: Bewertung der Ähnlichkeit von geometrischen Graphen

Helmut Alt, Christian Knauer.

In der algorithmischen Geometrie wurde das Anpassungsproblem für geometrische Muster vom theoretischen Standpunkt aus untersucht. Dabei wurden effiziente Algorithmen entwickelt, die die Ähnlichkeit von geometrischen Objekten messen; zwei solche Objekte betrachtet man als ähnlich, wenn sich ihre Geometrie nicht wesentlich unterscheidet.

Ziel des Projekts ist es, diese Ideen für den Fall zu verallgemeinern, bei dem die Muster durch geometrische Graphen (d.h. planare Graphen mit einer kreuzungsfreien Zeichnung in der Ebene) repräsentiert werden. Dazu muss nicht nur die Geometrie der Muster (Graphen) berücksichtigt werden, sondern auch ihre topologische und kombinatorische Struktur. Dieses Ähnlichkeitsmodell ist für viele praktische Probleme der Mustererkennung besser geeignet als ein rein geometrisches Modell, wie etwa für die Erkennung von ägyptischen Hieroglyphen, chinesischen Schriftzeichen, oder elektronischen Komponenten in einem Schaltkreisdiagramm.

Im Lauf des Projekts soll zunächst ein geeigneter Abstandsbegriffs für geometrische Graphen gefunden werden. Weiterhin sollen asymptotisch effiziente Algorithmen entwickelt werden, um die Ähnlichkeit von geometrischen Graphen zu messen. Längerfristig ist es das Ziel, eine effiziente Datenstruktur zu entwerfen, mit der aus einer grossen Menge von Graphen derjenige schnell bestimmt

werden kann, der zu einem gegebenen Anfragegraphen am ähnlichsten ist.

Dieses Projekt wird in Kooperation mit Prof. Otfried Cheong vom Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) in Daejeon, Südkorea durchgeführt.

4 Die Arbeitsgruppe Theoretische Informatik

Leiter

- PROF. DR. HELMUT ALT
Entwurf und Analyse von Algorithmen, insbesondere Algorithmische Geometrie mit Schwerpunkt Formanalyse.
- PROF. DR. GÜNTER ROTE
Algorithmische Geometrie, kombinatorische Optimierung.
- PROF. DR. CHRISTIAN KNAUER
Algorithmische Geometrie, Implementierung von geometrischen Algorithmen, Ähnlichkeitsbestimmung von geometrischen Figuren.

Mitglieder der Arbeitsgruppe

- HOSAM ABDO
Algorithmische Geometrie.
- KEVIN BUCHIN
Algorithmische Geometrie.
- MAIKE BUCHIN
Algorithmische Geometrie.
- BRITTA DENNER-BROSER
Kombinatorik, Geometrie und Optimierung.
- DARKO DIMITROV
Bildverarbeitung, Computersehen, Flächenrekonstruktion aus dreidimensionalen Punktdaten.
- DR. FRANK HOFFMANN
Algorithmische Geometrie, geometrische Online-Probleme, angewandte Matching-Probleme.
- OLIVER KLEIN
Algorithmische Geometrie, Mustererkennung.
- CLAUDIA KLOST
Algorithmische Geometrie.

- PD DR. KLAUS KRIEGEL
Graphalgorithmen und graphentheoretische Methoden für geometrische Probleme.
- TOBIAS LENZ
Algorithmische Geometrie, algorithmische Topologie.
- WOLFGANG MULZER
Algorithmische Geometrie.
- LUDMILA SCHARF
Algorithmische Geometrie.
- MARC SCHERFENBERG
Suchstrukturen für Formen
- SVEN SCHOLZ
Algorithmische Geometrie, angewandte Matchingprobleme.
- ANDRE SCHULZ
Algorithmische Geometrie, Pseudotriangulierungen.
- FABIAN STEHN
Algorithmische Geometrie von Kurven und Flächen.
- ASTRID STURM
Algorithmische Geometrie von Kurven und Flächen.

Weitere Informationen

Prof. Dr. Helmut Alt
Takustr. 9
Raum 112
Tel.: 838-75160
alt@inf.fu-berlin.de

Prof. Dr. Günter Rote
Takustr. 9
Raum 110
Tel.: 838-75150
rote@inf.fu-berlin.de

PD Dr. Klaus Kriegel
Takustr. 9
Raum 115
Tel.: 838-75156
kriegel@inf.fu-berlin.de

Prof. Dr. Christian Knauer
Takustr. 9
Raum 114
Tel.: 838-75165
knauer@inf.fu-berlin.de