

VISU- Zusammenfassung

July 4, 2018

Contents

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Aufgaben der Visualisierung | 4 |
| 2 | Datenformate und Gittermodelle | 5 |
| 2.1 | Eigenschaften von Daten und Datensätzen - Was bilden wir ab? . | 5 |
| 2.2 | Interpolation generell - Alles im Zwischenraum visualisieren können | 6 |
| 2.3 | Gitter - den gesamten Raum visualisieren können | 6 |
| 3 | Skalare und Skalarfelder | 7 |
| 3.1 | Definifion Feld und Skalarfeld | 7 |
| 3.2 | Darstellungsformen von 2D-Definitionsmenge | 7 |
| 3.3 | Darstellungsformen von 3D-Definitionsmenge | 7 |
| 3.4 | Color-Maps | 7 |
| 3.5 | Isolinien und Flächen | 7 |
| 3.6 | Isolinien und Flächen im Raum: Marching Cubes | 7 |
| 3.7 | Asymptotic Decider | 7 |
| 4 | Volumenvisualisierung | 9 |
| 4.1 | Welche 3D-Volumen-Daten gibt es zu visualisieren? | 9 |
| 4.2 | Schnittflächen | 9 |
| 4.3 | Durchleuchtung | 9 |
| 4.4 | Beleuchtung von Oberflächen | 9 |
| 4.5 | Levoys Rendering Pipeline | 10 |
| 4.6 | Sampling-Methoden: Arten der Strahlenverfolgung | 10 |
| 4.7 | Prä- vs. Post-Klassifikation vs. Preintegrated Volume-Rendering | 10 |
| 4.8 | Non-photorealistic Rendering / abstraktes Rendering | 11 |
| 4.9 | Parallelität ausnutzbar | 11 |
| 5 | Skalarfeldtopologie | 12 |
| 5.1 | Definition Skalarfeldtopologie | 12 |
| 5.2 | Morsetheorie | 12 |
| 5.3 | Konturbaum | 12 |
| 6 | Vektorfelder | 14 |
| 6.1 | Definition | 14 |
| 6.2 | Informationen eines Vektors über Jacobi-Matrix gewinnen | 14 |
| 6.3 | Kurven im Vektorfeld | 14 |
| 6.4 | Fluss, Quellstärke, Divergenz, | 15 |
| 7 | Merkmalskurven | 16 |
| 7.1 | Die vier Merkmalskurven instationärer VF | 16 |
| 7.2 | Übung Pfadlinien/ Partikel-Trajektion | 16 |
| 7.3 | Terminierung | 16 |
| 7.4 | Anzeigen der Linien | 16 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 8 | Texturbasierte Techniken | 18 |
| 8.1 | Schlieren als Motivation | 18 |
| 8.2 | Spot Noise | 18 |
| 8.3 | DDC | 18 |
| 8.4 | LIC | 18 |
| 9 | Vektorfeld-Topologie | 19 |
| 9.1 | Das Ziel | 19 |
| 9.2 | Startmenge, Zielmenge, Becken, Topologie | 19 |
| 9.3 | Seperatritzen, kritische Punkte | 19 |
| 9.4 | Weiteres? | 20 |
| 10 | Merkmalsbestimmung und Wirbelextraktion | 21 |
| 11 | FRAGEN | 22 |

1 Aufgaben der Visualisierung

Begriffsdefinition: Drei Zitate zu Visualisierung

Aufgaben der Visualisierung Zusammenfassung

Aufgaben der Visualisierung I - III

Schritte Idealisiertes Vorgehen

Ein Wort zu VTK

2 Datenformate und Gittermodelle

2.1 Eigenschaften von Daten und Datensätzen - Was bilden wir ab?

Aufbau Datensatz

- Definitionsmenge
- Topologie
- Funktion $Definitionsmenge \rightarrow Bildmenge$ wobei Bildmenge Attributen der Daten gleichen muss.

5 Kriterien nach denen man Datensätze unterscheidet:

- Dimension des Beobachtungsraumes
- Struktur der Definitionsmenge
- Struktur der Nachbarschaftsrelation
- Dimension der Nachbarschaftsrelation
- Wertebereiche der Funktionen

Typen von Daten:

-

Nominal bis Kontinuierlich

-

Anforderungen ans Visualisierungssystem

- effiziente Daten-Speicherung
- effizienter Datenzugriff
- Abbildbarkeit (?)
- Einfachheit (?)

Begriffsdefinitionen

- Stetigkeit (Kurz in Umgangssprache aufschreiben)
- Topologie, Kodimension...

Das Problem, dass alles was gemessen wird, diskrete Werte sind

Infos auf Folie?

Wie man zwischen Werten interpoliert.

Shepard Interpolation

→ Inverse Distanzgewichtung.

Modifizierte Shepard Interpolation

→ Mit Radius

2.2 Interpolation generell - Alles im Zwischenraum visualisieren können

Zwischen welchen Werten man interpoliert.

Auf der Linie

Im linearen Dreieck

Dreieck mit Baryzentrischen Koordinaten

Im linearen Tetraeder

- mit Baryzentrischen Koordinaten
- mit linearem Ansatz

Im bilinearen Rechteck

- Entlang der Kanten linear
- Innerhalb des Rechtecks Bi-Linear

Im linearen Quader

Im linearen Prisma

Nearest Neighbour in Voroni-Diagrammen für Scattered Data

→ Entspricht Shepard Interpolation mit Gewichtungsfaktor für Distanz p gegen Unendlich.

2.3 Gitter - den gesamten Raum visualisieren können

Was ist ein Gitter?

- Bisher Set an Interpolations-Möglichkeiten
- Jetzt ganzen Raum mit Gitter auskleiden - befähigt uns jeden Punkt im Raum abzubilden.

Welche Gitter gibt es?

Wie speichert man die Dinger?

- Feste X und Y Delta
- Suchstrukturen nennen können. (R-Baum, weitere..) – kD-Baum (k-Dimensionaler Baum) - bsp:
 - BSP = binary space partitioning Tree — Für 2D: State of the art: Quad-Trees (Ich lege ein gitter drüber, teile das Bild in 4 Teile. So lange bis ich das auf Pixel-Größe habe) — Für 3D: Oct-Trees

3 Skalare und Skalarfelder

3.1 Definition Feld und Skalarfeld

Feld: ...

Skalarfeld...

3.2 Darstellungsformen von 2D-Definitionsmenge

- Einfärbung
- Höhenfelder
- Isolinien

3.3 Darstellungsformen von 3D-Definitionsmenge

- Schnittflächen mit Einfärbung: Volumen mit einer Ebene schneiden, dann Punkten Farbwert zuordnen.
- Jedem Skalar im Volumen optische Eigenschaft zuweisen und auf Projektionsfläche abbilden (Absorptions-, Emissions-Modell, ect.)
- Isoflächen (Zeige alle Punkte mit Isowert a an)

3.4 Color-Maps

Aspekte raussuchen.

3.5 Isolinien und Flächen

- Was sind das?
- Interpolation von Isowert in Dreiecks-Flächen (Wo schneidet ein Dreieck die 0-Höhenlinie?)
- Interpolation von Isowert in Vierecks-Flächen
- Interpolation von Isowert in Polygone -> In Drei-oder Vierecke zerlegen, dann weiter

3.6 Isolinien und Flächen im Raum: Marching Cubes

- Prinzip
- Bug im Verfahren (Bei Verbindung über mehrere Zellen)
- Korrekte Triangulierung
- Konsistente Triangulierung -> Über Festlegung: Bei Sattelpunkt: Liegt immer nach Links - ist Konsistenz sichergestellt.

3.7 Asymptotic Decider

- Bilineare Interpolation (an den Flächen entlang?)
- Fallunterscheidung: Wert von Interpoliertem Kanten-Schnittpunkt vergleichen

mit Sattelpunkt-Wert. - Probleme: Korrektheit der Triangulierung - Analog zu Marching Cubes, allerdings ist schon Konsistenz sichergestellt - Korrektheit bleibt offen.

4 Volumenvisualisierung

Aus Kap 2:

- Schnittflächen mit Einfärbung: Volumen mit einer Ebene schneiden, dann Punkten Farbwert zuordnen.
- Jedem Skalar im Volumen optische Eigenschaft zuweisen und auf Projektionsfläche abbilden (Absorptions-, Emissions-Modell, ect.)
- Isoflächen (Zeige alle Punkte mit Isowert a an)

4.1 Welche 3D-Volumen-Daten gibt es zu visualisieren?

4.2 Schnittflächen

- Ebene = Position und Normalenvektor
- MC-Verfahren

Alternativ: - Schnitt entlang einer gekrümmten Ebene (z.B. Vene verfolgen) = Curved Planar Reformation, CPR

Dabei Generell:

- Thresholding einsetzbar
- Regionenwachstum mit Saatpunkt

4.3 Durchleuchtung

Verfahren Beschreiben

- ...
- Dabei maßgebend Hounsfield-Skala

Emissionsmodell

Absorptionsmodell

Kombination beider Modelle

Absorptionsmodell

Darstellung des resultierenden Skalarfeldes

- Mensch schlechte Tiefenwahrnehmung, auf Wahrnehmen von Obeflächen trainiert
→ deswegen Einsatz Transferfunktion

4.4 Beleuchtung von Oberflächen

Notwendig, um 3D sichtbar zu machen.

4.5 Levoy's Rendering Pipeline

- Datensatz (z.B. CT Daten) werden aufbereitet (Korrektur Bewegung Patient, Kontrast)
- Ermittlung des Gradienten ("Normale/Vektor des Voxels in Richtung der gr. Änderung ??") Dient zur Ermittlung Farbhelligkeit /Beleuchtungsverhalten (Flächenausrichtung) , Zeigt Übergänge auf
- Klassifizierung
 - Farbhelligkeit aus Gradient → festlegen Transferfunktion (bestimmt Farbe von bestimmten Skalarwerten)
 - Lichtdurchlässigkeit (in Datensatz gegeben ??)
- RayCasting → Strahl von Bild in Datensatz werfen → Abtastpunkte nehmen → Interpolieren → Samples als geordnetes Array mit Farbe bzw. Lichtdurchlässigkeitswert (Opacity und Farbe unabhängig voneinander)
- ALTERNATIVE: PreIntegrated Volume Rendering → Integrale werden mögl. exakt berechnet
- Compositing → Addiert Samplewerte auf (Approximation der Integrale) → Farbwert Pixel

4.6 Prä- vs. Post-Klassifikation vs. Preintegrated Volume-Rendering

PräKlassifizierung: Erst Eckpunkten Farbe zuweisen, dann zwischen Farbwerten interpolieren. (Hier Gefahr des Color bleedings)

Postklassifizierung: Erst zwischen Eckpunkten interpolieren, dann in Farbwert übersetzen.

Preintegrated Coloring = Integral zwischen Abtastpunkten speichern = Berücksichtigung aller (interpolierten) Zwischenwerte (kein Color bleeding)

4.7 Sampling-Methoden: Arten der Strahlenverfolgung

- Bei Strahlenverfolgung entlang der Achsen: Levoy: Farbwert von Voxel am Ende des Voxels = Farbwert zu Beginn des Voxels + Farbe des Voxels + Opazität des Voxels - Nicht Entlang der Achsen: Interpolation notwendig Generell paar Parameter: - Abtastrate (Größe des Gitters)
 - Richtlinie
 - Theorem aus Signalverarbeitung
- Sampling entlang Objekt (Transformations der Strahlen) oder Sampling einfach gerade durch
- Bessere Daten durch Vorverarbeitung

- Abtastung mit Zufallswerten - Verschieben der regulären Abtastpunkte zufällig.

Wie gehe ich mit den erhaltenen Punkten um?:

4.8 Non-photorealistic Rendering / abstraktes Rendering

= Methoden nach dem Motto "Wir machen was anderes als die Physik"

Entspricht nicht Levoy-Ansatz. Begriff = Stilisierte künstlerisch abstraktes rendering. Für Darstellung des wesentlichen mit zeichnerischer Technik.

Silhouette Rendering

Kanten des Objektes besonders hervor bei Knicken oder Materialgrenzen.

Tone Shading

Schattierung mit einer Farbe: Von nem runden Objekt werden die Vorder- und Rückseite damit klar. Damit kann man 3D geut wahrnehmen. Durch Wahrnehmungstheorie: Warmer ton vorne, kalter Farbton im Schatten.

Cartoon Shading

Farbverläufe in Bereiche gleicher Farben unterteilen - Diskretisieren.

4.9 Parallelität ausnutzbar

Parallelität ausnutzbar weil SIMD.

Aufteilung der Daten via kd-Baum (k-Dimensionaler Baum) - halbieren, halbieren ... Baumstruktur. Werte an Rändern dann dublizieren (damit in beiden Teilbäumen mit den Daten gerechnet werden kann) und beim zusammenführen nur 1x werten.

5 Skalarfeldtopologie

5.1 Definition Skalarfeldtopologie

- Rubber-Band Geometry
- Homöomorphismus
 - Simplex = Einfache wie Punkt, Linie, Dreieck
- Simplicialkomplex = Komplexe Struktur aufgebaut aus Simplexen
- Triangulierung von einem topologischen Raum X ist ein Simplicialkomplex K zusammen mit einem Homöomorphismus $K \rightarrow X$ (wir müssen sagen: Wo gehören die Dreiecke hin? Homöomorphismus lässt uns die triangulierten Räume in den zugrundeliegenden echten Raum transformieren.)

5.2 Morsetheorie

- Wir haben keine Mannigfaltigkeit (Bspw. Erd-Kugel) darauf haben wir keine differenzierbare Funktion (die Bspw. Höhenfeld darstellt). Mithilfe der Morsetheorie können wir diese Funktion analytisch untersuchen.

Kritische Punkte und kritische Werte:

- Wenn totale Ableitung gleich 0
- Partielle Ableitung entsprechend auch
- Kugel rollt nicht weg
- Hoch
- Tief
- Sattel

In Hesse-Matrix stehen alle Kombinationen aller partiellen Ableitungen bis 2. Grades drin. Für alle kritischen Punkte Hesse-Matrix aufstellen. Darüber Erkenntnis gewinnen, wie es um die Punkte drum rum aussieht (Wo geht's wie stark hoch und runter?) Daraus können wir die Umgebung aufbauen.

Anwendung auf realistische BSP: Glatte Fläche würde überall kritische Punkte liefern, deswegen Dreieck leicht ankippen (kleines Epsilon an Ecken addieren.)

5.3 Konturbaum

- Lokales MIN
- Lokales MAX
- Verbindungs und Trennpunkt
 - Äquivalente Isokonturen = Zwei Linien untereinander (auf verschiedener Höhe) zwischen denen kein MIN, MAX, Trenn/VerbindPunkt liegen.
- Konturbaum Superecke und Superkante.

- Vergrößerter Konturbaum (?)
- Höhengraph (mit Werten)
- Teilgraph
- Split-tree und join-tree

6 Vektorfelder

6.1 Definition

Jedem Vektor des Definitionsbereiches/der Domain ist ein Vektor zugeordnet.

- Zeitunabhängig = Stationär
- Zeitabhängig

6.2 Informationen eines Vektors über Jacobi-Matrix gewinnen

Leitet man ein Vektorfeld ab (totales Differential) erhält man die Jacobi-Matrix. Diese beschreibt also die Änderung des Vektors in alle Richtungen.

6.3 Kurven im Vektorfeld

Kurve = Position, die sich über die Zeit ändert.

Im Diagramm hätte man beispielsweise ne Kurve in einem 2D-Koordinatensystem. Die Kurve hat nen Start- und nen Zielpunkt. Die Kurve verbindet auf cl-stetige weise diese Punkte. Das ist die Theorie.

In der Praxis fährt zB. ein Auto auf einer 2D-Landschaft. Dann besteht die Kurve aus diskreten, zeitabhängigen Positionspunkten. Dort wo man schneller gefahren ist gibt es weniger Abtastpunkte (liegen die Punkte weiter auseinander).

→ Kurvenintegral 1. Art

Dabei ist F ein Skalarfeld. Setzt man das auf 1 liefert das Kurvenintegral 1. Art die Weglänge. Dabei liefert die Ableitung der Kurve nach der Zeit die Richtung der Änderung in einem Punkt, wobei die Länge des Vektors der Geschwindigkeit entspricht.

→ Kurvenintegral 2. Art

Wir haben hier ein Vektorfeld v . Das Vektorfeld kann man sich als Krafteinwirkung vorstellen, die auf das Teilchen, das die Kurve malt, Kraft auswirkt (An dem Teil Arbeit verrichtet). Kurvenintegral 2. Art summiert jetzt die verrichtete Arbeit.

Bildet man das Ringintegral (Integral für geschlossene Kurve, dann nennt man den Wert Zirkulation) in einem Vektorfeld, in zB. dem alle Vektoren parallel zur X-achse liegen und nach Rechts zeigen, ist der Wert des Integrals 0.

Mit dem Fahrrad im Kreis fahren wenn Wind stets von Osten kommt, dann ist in die eine Richtung zu treten, in die andere nicht. Wenn der Wind orthogonal zum Fahrrad steht hat das keine Vektorfeld keine Einwirkung.

Tornado vs. Windkanal.

Wenn wir bei nem Ringintegral nicht den Wert 0 erhalten (Die Zirkulation ungleich 0 ist), dann liegt ein Wirbel vor.

Wir können von nem Ringintegral Teilbereiche Berechnen (Abkürzungen beim im Kreis fahren nehmen). In Summe ergibt das wieder den vollen Kreis.

Wenn wir nen Ring nehmen und darüber die Zirkulation berechnen, dann den Ring immer kleiner machen, dann erhalten wir die Berechnung des Rotationwertes für einen Punkt.

Für ein Objekt im 2D-Raum können wir über unendlich vielen Vierecken das Objekt abbilden. Darüber erhalten wir dann das Ringintegral und damit die Zirkulation von dem Objekt.

Über den Satz von Stokes erhalten wir damit auch die Rotation (im Inneren) des Objektes. (Über das Verhalten am Rand, bekommen wir die Info über das Verhalten im Inneren des Objektes).

6.4 Fluss, Quellstärke, Divergenz, ...

Fluss eines Vektorfeldes gibt die Stärke des Durchflusses durch eine in das Vektorfeld hineingelegte Hyperebene an.

Quellstärke für ein definiertes Volumen in einem Vektorfeld: Ist also die Anzahl an Teilen, die mehr rausgehen als reingehen.

Divergenz = Quellstärke eines infinitesimalen Quaders.

Durch Satz von Gauß kann man Volumenintegrale durch Flächenintegrale ersetzen.

Divergenzfrei (Divergenz = für infinitesimale Einheiten) = Quellenfrei (Begriff für Volumen)

Rotationsfrei (Für Punkte) = Wirbelfrei (Für Felder)

7 Merkmalskurven

7.1 Die vier Merkmalskurven instationärer VF

In Instationären Vektorfeldern gibt es vier Arten von Merkmalskurven:

- **Stromlinien** - Momentaufnahme meines instationären Vektorfeldes.
- **Pfadlinien** - Trajektorie eines masselosen Partikels: Ich lasse ein Teil irgendwo im Raum los und überlasse es dem Vektorfeld, der Weg der vom Teilchen genommen wird ist die Pfadlinie.
Berechnung über
 - Eulerverfahren - Einschrittverfahren
 - Modifiziertes Eulerverfahren (1/2 schritt in die Richtung, dann Vektorfeld an der Position abtasten und daraus nächste Richtung bestimmen)
 - Runge-Kutta Verfahren der vierten Ordnung
- **Streichlinien** -
wir verfolgen eine Position und werfen dort über die Zeit mehrere Partikel rein.
Hat sich das Feld geändert, nehmen die Teilchen verschiedene Pfade. (Das ist nicht die Pfadlinie.)
Bsp: Schornstein. Rauch-Wolken-Teil ganz oben ist mit Sicherheit nicht die Linie gegangen, die die gebogene Rauchsäule unten drunter bildet.
- **Zeitlinien** - Verfolgung einer zusammenhängenden Linie an Tracern über die Zeit.

7.2 Übung Pfadlinien/ Partikel-Trajektion

- Euler, mod Euler, RK4 üben.

7.3 Terminierung

Wann hören wir auf, Linien zu zeichnen?

7.4 Anzeigen der Linien

Streamtubes

- Röhrendicke und Farbe verwenden, um Attribute abzubilden.
- Druck
- Geschwindigkeit (hätten wir bei einzelnen Linien nicht) (dünner wenn schneller)
→ darf aber nicht zu dünn werden, wenn es dann nicht mehr da ist die Linie)
- Zeit

Streamribbons

- Drehung des Partikels um sich selbst lässt sich durch Drehung eines solchen Bandes darstellen
- mehrere Bänder können auch einen gemeinsamen Wirbel ergeben
- Größen und Farbkodierung analog zu Röhren

Stromlinien-Platzierung

- Man braucht ein paar Stromlinien, um den Datensatz zu verstehen. Aber: keine Überschneidungen, keine Häufungen

Es gibt Bereiche, in denen Stromlinien zusammenlaufen. Da will man nicht alle Stromlinien zeichnen.

Erste Möglichkeit das anzugehen: Das ist heftig: Räumliche Suchstruktur bauen, um zu checken, ob sich Linien zu nahe kommen um ggf. Zeichnen von Linien abubrechen.

Noch ein Ansatz: Starten auf schwarzer Fläche. Stromlinie einzeichnen. Dann verwischen. Bspw. mit Gauß Glockenkurve. Dann nächste Linie zeichnen, dort wo es noch ziemlich dunkel ist. Dann immer weiter, bis ein ziemlich graues Bild entsteht.

- Bild mit Schwarzen/weißen Flächen nicht so gut.
- Wie gut ne Linie war würde sich zeigen, ob sich die Varianz des gesamten Bildes verbessert hat. Meiste Verfahren sind Brute-Force-Verfahren: haufenweise Linien berechnen und prüfen, ob es besser wird.

8 Texturbasierte Techniken

8.1 Schlieren als Motivation

Idee: Strömung sichtbar machen.

Messtechnik für 2D oder 3D-Strömungen = Schlierenbilder.

Oberfläche des Objektes mit Ölfilm benetzen, dann bilden sich nach Strömung Streifen auf dem Ölfilm.

Oder Dichte von Teilchen im Windkanal betrachten.

Aufbau Spiegelvorrichtung für Messen von Schlieren = Strioscopic TODO

8.2 Spot Noise

Methode Strömungsdaten darzustellen.

Spot = Farbklecks.

Man wählt zufällig Positionen in der Textur und zeichnet einen Spot an dieser Stelle, der so geformt ist, dass er die Richtung des Vektorfeldes wiedergibt. In Kombination mit Farabbildungen z.B. des Drucks ergeben sich dann Bilder, die Linienmuster entlang von Stromlinien bilden.

In 3D auch möglich, da allerdings Verdeckungsproblem, daher Verteilung von Spots von anderen Parametern abhängig gemacht.

8.3 DDC

Discrete Differential Analyzer-Faltungsverfahren:

Hier wird eine Linie in Richtung des Vektorfeldes gerastert und über diese gemittelt.

Problem: bei starker Krümmung einer Linie verwischte Darstellung.

8.4 LIC

Zum Überwinden des Problems in DDC LIC verwenden.

= Line Integral Convolution oder LinienIntegral-Faltung.

= Auto in Windkanal stellen, Ölfilm drauf, Windkanal an, Windkanal aus, Ölfilm auf Oberfläche anschauen. Wenn du das als Algorithmus umsetzt, hast du.

LIC

Fast LIC

LIC auf Volumen

9 Vektorfeld-Topologie

9.1 Das Ziel

Untersucht die Frage nach Gesamtbild des Flusses. Also Anfang und Ende von Stromlinien ansehen. Dadurch Bereiche ähnlichen Stromlinienverhaltens identifizieren. Das ist das Ziel.

9.2 Startmenge, Zielmenge, Becken, Topologie

Startmenge

Für jeden Punkt des Beobachtungsraumes Stromlinie zurückverfolgen. Die Punkte, deren Stromlinienposition am nächsten an minus unendlich dran sind, bilden die Startmenge.

Warum so kompliziert? - Wegen Kreis-Problem.

Zielmenge

= Startmenge Rückwärts.

Becken

Becken eines Punktes = Alle Punkte des Definitionsbereiches, die auf den Linien liegen, die vom gegebenen Punkt ausgehen.

Man kann auch ein Becken für mehrere Punkte definieren.

Vektorfeldtopologie

Topologie wird definiert als Zerlegung von Beobachtungsraum B in Komponenten. Diese Komponenten ergeben sich aus den Schnitten von Alpha- und Omega-Becken.

Eine Komponente besteht aus den Stromlinien, die die gleich Start- und Zielmenge haben.

9.3 Separatritzen, kritische Punkte

Kritische Punkte

Kritische Punkte = Nullstellen des Vektorfeldes. Start- und Zielmenge besteht aus dem Punkt selbst. Das ist eine sog. Singularität.

Kritische Punkte kann man durch Nachbarschafts-Betrachtung klassifizieren.

Separatritzen

- Was einen interessiert sind die Teile, die bestimmte Bereiche abtrennen.
- Das sind immer Linien die ein Besonderes Verhalten haben. Nämlich die kritische Punkte verbinden. Solche Linien sind die sog. Separatritzen.

Quellen, Senken, Sattelpunkte

Vergleich zu Skalarfeldern

9.4 Weiteres?

10 Merkmalsbestimmung und Wirbelextraktion

Merkmale (engl. Features) =

Hängen bleiben sollte:

- Versch. mathematische Modelle zum Beschreiben der Wirbel
- Ideen hinter den Algorithmen zum finden
- Was ist ein Merkmal, was ist interessant, verfolgen über Zeit
- Verschiedene Ideen dazu das anzuzeigen

11 FRAGEN

- Bug im Verfahren zu MC (Bei Verbindung über mehrere Zellen) – was ist der Fehler, wie kann man ihn beheben?
- Korrekte Triangulierung = Fehlerbehebung unabh. von Echtwelt?
- Konsistente Triangulierung = Echtwelt?
- Regionenwachstum mit Saatpunkt in Schnittvisualisierung - BSP?
- Was versteht man unter Resampling?
- Texturbasiertes Rendering?
- Bsp. für Kurvenintegral 2. Art
- Skalarpotential?