

Verfahren zur Kompression und progressiven Übertragung von diskreten 3D Objekten mit Hilfe der medialen Achse

Johann Raskatow

Universität Koblenz-Landau, Campus Koblenz
Universitätsstraße 1, 56070 Koblenz-Metternich,
Fachbereich 4: Computervisualistik,
Proseminar: Multimediadatenbanken und Retrieval
jraskatow@uni-koblenz.de

Zusammenfassung Der technische Fortschritt von Telekommunikation, Computergrafik und Multimedia hat während der letzten Jahrzehnte zur Evolution von digitalen Daten, sowohl bei der Visualisierung als auch der Übertragung im Internet, beigetragen. In diesem Zusammenhang steigt das Bedürfnis nach effizienten und optimalen Lösungen zur Reduzierung der Größe dieser Daten. 3D Objekte werden dabei gewöhnlich durch polygonale Netze visualisiert. Diese Ausarbeitung soll ein neues Verfahren zur progressiven Übermittlung von 3D Objekten vorstellen, die auf den Versuche von Florent Dupont, Benjamin Gilles and Atilla Baskurt[1] beruht. Im Großen und Ganzen basiert dieses Verfahren auf der Vereinigung von Kugeln bzw. Cone Sections. Diese werden aus einer zuvor berechneten medialen Achse entnommen. Dadurch wird eine optimierte Datenübertragung für eine bessere Skalierbarkeit in Bezug auf Bit-Raten und Qualität gewährleistet. Diese Darstellung ist eine verlustfreie Annäherung eines Objekts, welche außerdem sehr effizient bei der Kompression und progressiven Übertragung ist.

1 Einführung

Gewöhnlich werden in der heutigen Computergrafik polygonale Netze (Meshes) eingesetzt, um 3D-Objekte zu visualisieren. Dieses Verfahren benötigt allerdings je nach Komplexität des Objekts eine große Menge an Speicher, was zu einer längeren Übertragungszeit führt. Um bei diesen Netzen die Übertragungszeit zu reduzieren, wurden mehrere Verfahren in Bezug auf Kompression, Vereinfachung der Netze sowie eine Detailannäherung an ein dreidimensionales Objekt veröffentlicht. Diese Ausarbeitung wird sich allerdings mit innovativen Methoden, zur Kompression und Übertragung von diskreten 3D-Objekten, beschäftigen. Für volumetrische Objekte werden hier Skelette bzw. mediale Achsen verwendet, um diese zu charakterisieren. Doch es gibt noch viele andere Konzepte wie z.B. die Generierung von Graphen, um Objekte zu beschreiben. Die Vorreiter in Richtung der medialen Achse waren Borgefors und Nyström[4], Nilsson und Danielsson[5]. Diese beschäftigten sich mit Methoden zur effizienten

Repräsentation von Gegenständen, mittels einer medialen Achse. Giblin und Kimia[6] schlagen eine Hypergraphen Skeleton Repräsentation vor, welche auf einer lokale Analyse der medialen Achse beruht. Für die Rekonstruktion berechnet Amenta[7] das Interieur, aus der Vereinigung der Mittelachsenkugeln durch stetige Methoden. In dieser Ausarbeitung wird eine effiziente und skalierbare Repräsentation von 3D-Objekten vorgestellt, die mit Hilfe der medialen Achse kodiert wird. Im 2. Punkt dieser Ausarbeitung wird die Berechnung der medialen Achse vorgestellt, welche als Grundlage für das vorgestellte Verfahren dient. Diese wird mit Hilfe einer vorgerechneten diskreten Abstandskarte (discrete distance Map) und der Bestimmung des diskreten lokalen Maximums ermittelt. Im 3. Abschnitt dieser Ausarbeitung wird beschrieben, wie die Anzahl der Punkte aus der medialen Achse reduziert werden, um die Übertragungszeiten in einem Netzwerk zu optimieren. Außerdem wird in diesem Abschnitt auf das Kodierungsschema eingegangen, welche eine gute Qualität zur schnellen Rekonstruktion gewährleisten. Im 4. Punkt wird das Verfahren mit Hilfe von Cone Sections definiert und wie diese anzuwenden sind, um die übertragenden Elemente zu reduzieren. Im vorletzten Punkt wird kurz erläutert wie die Eigenschaften der medialen Achse in Datenbanken genutzt werden können. Im letzten Abschnitt werden die Ergebnisse und die Auswertung der Verfahren, in Bezug auf Kompression, Performanz und der Qualität der Progression vorgestellt.

2 Mediale Achse

Die Mediale Achse wurde 1967 von Harry Blum eingeführt, um eine globale Beschreibung der Form eines Körpers zu konstruieren. Diese Methode ist eine geometrische Operation und wird in vielen Bereichen eingesetzt z.B. in der Bildverarbeitung, in der Robotik zur Bewegungsplanung sowie in der Computergrafik zur Beschreibung und Analyse von Objekten. Des Weiteren wird die mediale Achse auch als Skelett eines Objekts bezeichnet.

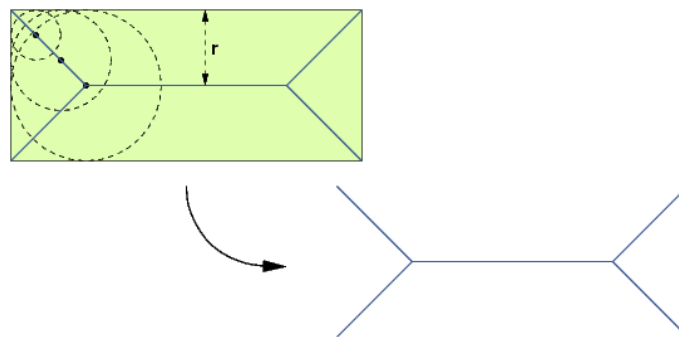


Abbildung 1. Mediale Achse in 2D eines Rechtecks

Im Allgemeinen beschreibt eine mediale Achse, die Menge der Zentren aller Mittelkugeln mit maximalem Radius, die in ein Objekt reingelegt werden können. Das heißt, dass eine Mittelkugel mindestens 2 Punkte der Oberfläche berührt und vollständig im Objekt enthalten ist. Die Vereinigung dieser Kugeln repräsentiert das Objekt selbst. Generell ist die mediale Achse eines 3D Objektes eine 2D Oberfläche, welche genau die Topologie des Körpers wiedergibt. Wichtige Eigenschaften einer medialen Achse ist die Homotopie, gute Lokalisation (zentriert auf dem Objekt), und Invertierbarkeit. Die Invertierbarkeit ist Notwendig, für eine korrekte Rekonstruktion eines Objektes nach der Übertragung, und garantiert eine verlustfreie Kompression.

2.1 diskrete Abstandskarte

Der erste Schritt um eine mediale Achse zu berechnen, ist eine diskrete Abstandskarte des Objekts zu ermitteln. Bei so einer Karte, hat jeder Voxel eines 3D Objekts einen Wert des minimalen Abstandes zur Kante/Rand dessen. Die Ermittlung der diskreten Abstände wird berechnet, meistens durch die Betrachtung der Voxelnachbarschaft. Dazu gibt es mehrere Algorithmen bzw. Verfahren, die sehr gut in der Dissertation von Gisela Klette[8] im vierten Kapitel beschrieben sind.

2.2 lokales Maximum

Die mediale Achse ist eine Menge von Zentren der maximalen Kugeln, die in ein Objekt hineinpassen. Diese werden aus einer Abstandskarte gewonnen. Die Radien der Kugeln sind dann die lokalen Maxima.

3 Kugel Methode

3.1 Optimierung der medialen Achse

Die Idee dahinter, ist die Übertragung von Kugeln der medialen Achse, die das Objekt zerlegen. Das soll zum Zweck der Kompression sowie der progressiven Übertragung dienen. Nach der in Punkt zwei erzeugten medialen Achse, haben wir nun eine große Menge an Daten, diese gilt zu reduzieren. Da die mediale Achse redundant ist, auf Grund der Überlappung von assoziierten Kugeln, enthält diese eine Menge an überflüssigen Punkten/Kugeln. Einige Kugeln können entfernt werden, ohne die Rekonstruktion nach einer Übertragung gravierend zu beeinflussen bzw. zu verändern. Das Ziel der Optimierung, ist alle überflüssigen Punkte zu entfernen bzw. die Punkte zu entfernen, auf die bei der Rekonstruktion des Objekts verzichtet werden kann, sodass eine genaue Rekonstruktion bewahrt wird. Das Verfahren dazu, besteht aus der Berechnung der Anzahl der Voxel, welche genau zu einer assoziierten Kugel gehören und nicht zu Anderen. Dies wird auch als "intrinsic volume" bezeichnet. Diese Berechnung wird dann für jeden Punkt auf der medialen Achse durchgeführt. Genauer: Als erstes erhalten

wir ein Input einer aufsteigend nach Radien sortierte Liste, von Punkten der Medialen Achse. Dann wird für den ersten Punkt die „intrinsic volume“ berechnet. Wenn der Wert der „intrinsic volume“ null beträgt, so nennt man den Punkt „Zero Volume“, was die Entfernung des Punktes aus der Liste zur Folge hat. Meistens sind es die Punkte, die die kleinsten Kugeln darstellen. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, solange unbearbeitete Punkte in unserer Input Liste enthalten sind. Außerdem wird beim jedem Vorgang, die Liste aktualisiert, auf Grund der gegenseitigen Abhängigkeit der Punkte bzw. der Kugeln die sie repräsentieren. Durch diesen Arbeitsschritt wird eine hohe Reduktion der Punkte von der medialen Achse gewährleistet, ohne die Rekonstruktion des Objekts aus diesen zu gefährden.

3.2 Optimierung der progressiven Übertragung

Die Optimierung der medialen Achse, ist eine Liste von Punkten mit den Koordinaten x,y,z und den assoziierten Radien. Diese Liste wird noch sortiert, um eine schnelle und qualitative Rekonstruktion zu erreichen. Der erste übertragene Punkt sollte den Punkt enthalten, welches den größten Radius enthält, dann kann man auf 2 Strategien zurückgreifen. Entweder wird die Liste nach sinkendem Radius sortiert oder nach sinkender „intrinsic volume“. Je nach dem welche Strategie ausgewählt worden ist, haben wir dann eine sortierte Liste an Punkten mit deren Koordinaten und den dazugehörig Radien. Diese sind nun bereit in eine binäre Datei kodiert zu werden. Dabei wird am besten eine minimalen Anzahl an Bits für die Koordinaten und Radien gewählt.

3.3 Schema zur progressiven Übertragung

Die zwei Optimierungsschritte aus den vorläufigen Punkten, sind eine gute Voraussetzung für die progressive Übertragung. Die Schritte werden nacheinander auf die Daten angewendet, dass führt zu einer sehr kleinen binären Datei. Nach den zwei Schritten sind die Koordinaten und Radien in einer binären Datei, mit dem minimalen Einsatz an Bits kodiert welche eine Dekodierung und eine Rekonstruktion in Echtzeit gewährleisten.

4 Cone Section Methode

Die Repräsentation eines Volumens durch Punkte der medialen Achse, ist äquivalent zur Zerlegung des Volumens in eine Menge an Kugeln, die vereint das Objekt selbst wiedergeben. Je dicker und glatter das Volumen ist, desto effizienter ist diese Methode in Bezug auf Kompression von Informationen. Für zähe Objekte, ist diese Methode weniger effizient. Der Lösungsansatz für dieses Problem, ist die Benutzung anderer primitiver Objekte als Kugeln. Hier wird eine ebenfalls umkehrbare Methode empfohlen, die einen bestimmten primitiven Objekt, nämlich einen Kegel (Cone) nutzt, um die Größe der Daten zu reduzieren. Diese Methode bewahrt auch eine korrekte Rekonstruktion. Die Anzahl an Cones um

ein Objekt zu zerlegen ist in der Regel klein. Jedoch die Zerlegung eines Objekts in eine minimale Menge an Cones generell nicht möglich, da es zu viele Möglichkeiten bzw Kombinationen gibt. Allerdings durch die Kombination der Kugeln welche in einem Cone Section enthalten sind, ist es möglich Cone Section zu kreieren, welche ein Objekt gut beschreiben. So wird das beschriebene Vorgehen verbessert, dadurch dass die Kugeln miteinander mittels Kegel-Sektionen verbunden werden. In der wissenschaftlichen Arbeit von Florent Dupont, Benjamin Gilles and Atilla Baskurt[1] wird eine Kegel Zerlegung(Cone Sectio) folgendermaßen definiert: Eine Cone Section ist eine Menge an Kugeln zwischen 2 Kugeln, bei denen der Radius linear interpoliert wird. So braucht man z.B. bei einem zylinderförmigen Objekt nur ein Cone welcher 2 extremen Kugeln verbindet.

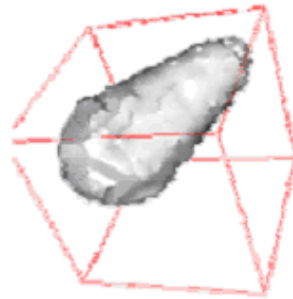


Abbildung 2. Beispiel einer Cone Section

Der eingesetzte Algorithmus dazu funktioniert folgendermaßen:
Als Input werden die Kugeln der medialen Achse erwartet, dann wird im Grunde die beste Verbindung zwischen diesen Kugeln ausgesucht, um ein Objekt bestmöglich auf die kompakteste Weise zu beschreiben. Die Berechnung der optimalen Lösung würde zu schwer sein, weil die Anzahl an Kombination fast ins unendliche gehen können. Um dieses Problem berechenbar zu machen, nehmen wir an, dass die Übertragung des größten Volumens für jeden level of detail eine gute Lösung zur minimalen Steigung der Verzerrung-/Zeitkurve führt. Die Liste an Kegel-Sektionen welche völlig in einem Körper enthalten sind, ist erschöpfend: jedes Kugelpaar der Medialen Achse wird darauf getestet, ob der Cone der das Paar verbindet auch zum Objekt gehört. Dann wird das Volumen der primitiven berechnet, in Form von Voxeln. Diese werden dann assoziiert in eine Liste gefüllt. Das ist auch der Initialisierungsschritt des Weiteren vorgehen. Wurde die Liste gefüllt, so wird sie in einer Schleife bearbeitet. Bei jeder Iteration wird das primitive Objekt, was den größten Volumen des Objektes darstellt herausgenommen, bis das Objekt vollständig rekonstruiert ist. Die Auswahl des größten Volumens wird aus der Volumenliste entnommen. Sobald ein primitives Objekt mit seinem

Volumen ausgesucht worden ist, muss das Volumen von den anderen abgezogen werden, sodass die Liste aktualisiert wird. Außerdem, wenn die Liste nur "null Volumen" enthält, so heißt es dass kein Voxel zum Objekt hinzugefügt werden kann. Und somit auch, dass jetzt das Objekt durch die ausgewählten Primitiven vollständig dargestellt werden kann. Die Liste der ausgewählten Primitiven kann nun kodiert werden.

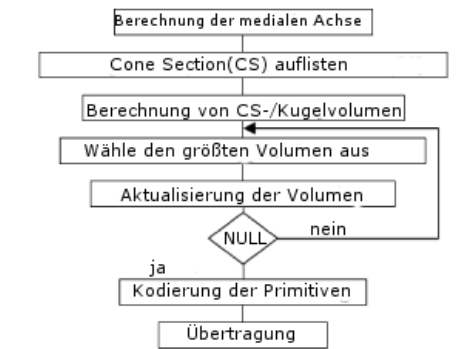


Abbildung 3. Kodierschema der Methode Cone Sections

Das Kodieren der Primitiven ist ziemlich einfach, denn es werden nur die Koordinaten der Kugeln und deren Radien sowie die Verbindungen zwischen den Kugeln benötigt. Die Verbindungen werden bei der Kodierung durch relative Indizes repräsentiert. Das Benutzen der relativen Indizes ist hier sehr effizient, in Bezug auf Speicher, als die Benutzung von absoluten Indizes. Der Grund dafür ist die nicht immer einheitliche Verteilung der Indizes. Außerdem werden die Indizes bei der Kodierung direkt binär kodiert, um die Größe der benötigten Daten zu reduzieren. Zusätzlich wird ein 1-Bit Separator zwischen den Indizes gesetzt, um zu gewährleisten, dass eine Kugel jede beliebige Anzahl an Verbindungen haben kann.

5 Ergebnisse

Die Ergebnisse die hier vorgestellt werden beruhen auf den Versuchen der Florent Dupont, Benjamin Gilles and Atilla Baskurt [1] dabei wurden Objekte mit unterschiedlichen Volumina eingesetzt. Diese Objekte sind in Abbildung 4 vorzufinden, mit den entsprechenden Maßen. Die gewünschten Ergebnisse waren eine effizientere Kompression, im Gegensatz zu anderen standardisierten Verfahren sowie eine gute Qualität der progressiven Übertragung.





			
Lobster 77 x 83 x 16	Vertebra 66 x 66 x 66	Hand_1 37 x 63 x 66	Hand_2 19 x 32 x 34

Abbildung 4. Test Volumen

5.1 Kompression der Daten

Nachdem die Kugeln und/oder die Cone Sections kodiert worden sind, kann die Größe der binären Datei mit anderen klassischen Encodern wie GZIP und JBIG verglichen werden. Dabei wurde das JBIG von den Versuchsdurchführenden und den Personen die dieses Verfahren wissenschaftlich vorgestellt haben so umimplementiert, dass JBIG mit 3D Objekten kompatibel ist und damit auch vergleichbare Werte vorzuweisen hat.

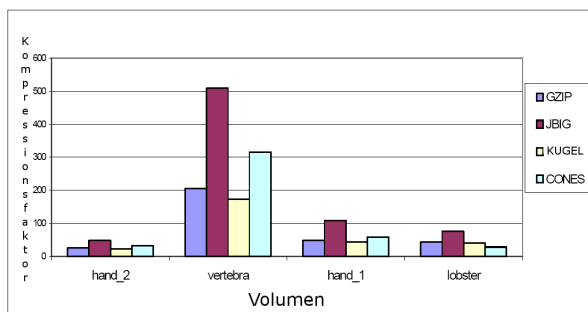


Abbildung 5. Kompressionsfaktoren

Die Tabelle in Abbildung 5 zeigt die Kompressionsfaktoren (Größe der rohen Datei über der Komprimierten) für die vorgestellten Methoden sowie für die hier in Betracht genommenen typischen Encoder GZIP an JBIG. Bei der Kompression von natürlichen Objekten ist die vorgestellte Methode bisschen schwächer als die klassischen, besonders bei dünnen Objekten. Es wurde aber auch mit den gängigen Methoden verglichen, wie einer Gitterannäherung. Um mit einer Gitterannäherung die vorgestellte Methode zu vergleichen wurden die Volumina vermehrt und diese wurden dann komprimiert, unter Anwendung von GZIP. Die Größe der Dateien wird in Tabelle 6 gezeigt.

Aus dieser kann man entnehmen, dass unsere Methode kleinere Dateien liefert als Gitter basierte, sogar bis zu einem Verhältnis von 1:70. So sieht man das diese Methoden sehr gut geeignet sind für volumisierte Daten. Ein weiteres

	Lobster	Vertebra	Hand_1	Hand_2
Mesh (bytes)	321294	43479	53127	190937
Cones (bytes)	3641	909	658	2675
Cones (bit/voxel)	0.28	0.025	0.25	0.139

Abbildung 6. Größe der komprimierten Daten

Problem bei Gitterverfahren ist, dass nach der Übertragung das ganze Gitter wieder berechnet werden muss, um 3D Objekte zu visualisieren. Dies kann sehr viel Zeit in Anspruch nehmen. Außerdem ist die Übertragungszeit dann auch länger.

5.2 Progressive Übertragung

Die Tabelle in Abbildung 7 zeigt die Evolution der Verzerrung in der Funktion des Prozentsatzes von übersandten Daten, welche proportional sind zu der Zeit bei einer fixen Netzwerkrate. Bei der Verzerrung handelt es sich um Fehler bei der Rekonstruktion eines Objektes aus den übertragenden Daten, im Vergleich zu dem originalen Objekt. Die Verzerrung wurde berechnet unter dem Einsatz der Metrik aus MPEG-4:

$$D = \text{Anzahl an fehlerhaften Voxel} / \text{Anzahl der Voxel im Objekt}$$

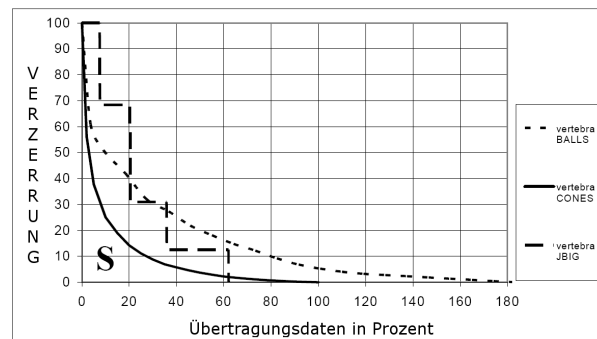


Abbildung 7. Verzerrungs-/Zeitkurve

Wir sehen in dieser Tabelle die Kurven der Verzerrung für unsere Methoden, als auch für JBIG. Der Punkt ist, dass während der ganzen Übertragung durch das Verfahren mit Cone Sections eine sehr niedrige Verzerrung vorzufinden ist. So wird schon in den frühen Stadien der Übertragung eine gute Annäherung an das Objekt gewährleistet, sodass wir die Übertragungszeit gut reduzieren können. Um unsere zwei Methoden und JBIG besser zu vergleichen, gibt es ein besseres Kriterium und zwar die Berücksichtigung des Bereichs unter der Verzerrungskurve (das S in Abbildung 7). Da die Übertragungszeit und die Verzerrung reduziert werden soll, müsste dieser Bereich minimieren wird. Mit Berücksichtigung des Kriteriums wurden Versuche durchgeführt, von den Florent Dupont, Benjamin Gilles and Atilla Baskurt und die Ergebnisse können in der Tabelle 8 entnommen werden.

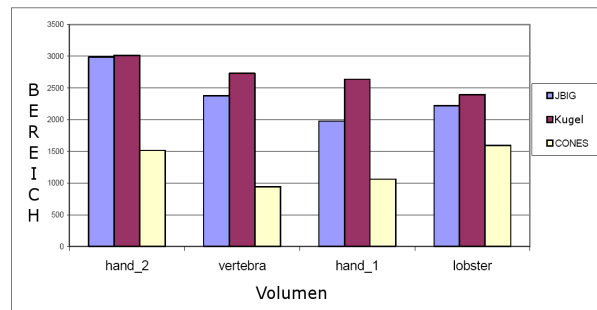


Abbildung 8. Vergleich des Bereichs S

Im Großen und Ganzen liefern die Ergebnisse von der Methoden mit den Cone Sectio in allen Fällen ein besseres Ergebnis als JBIG oder die Methode wo nur mit den Kugeln der medialen Achse gearbeitet worden ist. Eine Rekonstruktion während einer progressiven Übertragung, mittels Cone Sections können wir in Abbildung 9 sehen.

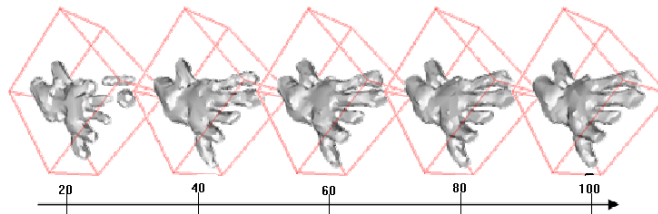


Abbildung 9. Ergebnisse der progressiven Übertragung unter Angabe der übertragenden Daten in Prozent

6 Einsatz in Datenbanken

Die mediale Achse erlaubt eine effiziente und kompakte Art ein 3D Objekt zu beschreiben, welche die Topologie und die Geometrie des Objekts bewahrt. Im Gegensatz zu globalen Formbeschreibungen, wird sogar eine Bestandsaufteilung noch ermöglicht. Diese Eigenschaften eignen sich hervorragend unter anderem für Einsätze in multimedialen Datenbanken. Denn es wird z.B. dem Benutzer ermöglicht, zu spezifizieren welcher Bestandteil des Objekts verglichen werden soll, was zu schnelleren Vergleichen führt. Außerdem können die Skelette von zwei zu vergleichenden Objekte effizient registriert und schnell visualisiert werden, was wichtig ist zum Verstehen des Ausmaßes der Ähnlichkeit beim Einbenutzer. Hierzu wurden mehrere Verfahren realisiert und erforscht. Eins davon ist, die Skelette als ein gerichteten azyklischen Graphen zu betrachten und diese auf Ähnlichkeiten mit anderen zu untersuchen. Dazu gibt es mehrere Algorithmen, eins davon wurde im Paper vom H. Sundar et Al[9] veröffentlicht. Bei diesem Algorithmus bestimmen zwei Faktoren ob Knoten von zwei Graphen überhaupt mit einander verglichen werden und somit auch die Nachfolger. Der erste ist ein Maß der topologischen Ähnlichkeit der Untergraphen von Knoten. Der zweite ist ein Maß der lokalen Informationen an den Knoten. Allein diese 2 Faktoren ermöglichen eine hohe Reduktion an Vergleichen. Außerdem besitzt jeder Graph nur eine bestimmte Anzahl an Knoten, was als erste Überprüfung auf Ähnlichkeit eingesetzt werden kann. Der Algorithmus wird rekursiv auf die Graphen von der Wurzel aus auf die Unterbäume angewendet, bis keine Nachfolger von Knoten mehr vorhanden sind. Das Ergebnis wäre ein Wert, der entweder die Anzahl der ähnlichen Knoten von zwei Objekten repräsentiert oder ein prozentualer Ähnlichkeitsmaß. Die Objekte mit den meisten Übereinstimmungen, könnten dem Benutzer progressiv Übertragen und Visualisiert werden, was durch die Skelette bzw. mediale Achsen sehr effizient und schnell erfolgt.

7 Fazit

In dieser Ausarbeitung wurde ein neues Verfahren zur progressiven Übertragung von 3D Objekten bzw. binären Volumina vorgestellt. Aus den Ergebnissen ist zu rückfolgern, dass die Methoden sehr gute Ergebnisse geliefert haben, vor Allem bei der Annäherung an ein 3D Objekt für den Endbenutzer. Bei komplexeren Volumen war die Kompression der vorgestellten Methode viel effizienter als bei herkömmlichen Kodierv Verfahren sowie bei der Gitterkompression. Das Benutzen der Daten welche topologische 3D Informationen enthalten, erlaubt eine einfachere Berechnung von 3D Transformationen sowie der geometrischen Bestandteile. Mit diesen Ergebnissen eröffnen sich neue Perspektiven in Bezug auf Animation von 3D Objekten, durch Anwendung von Transformationen basierend auf der medialen Achse, aber auch in Bezug auf Registrierung und Suche von Objekten in großen Multimediatdatenbanken. So kann man sagen das in diesem Bereich mehr geforscht werden soll, um solche Verfahren zu standardisieren, denn die Ergebnisse sprechen eindeutig dafür.

Literatur

- [1] Florent Dupont, Benjamin Gilles and Atilla Baskurt, "Lossless and scalable 3D objekt coding method based on medial axis transformation", LIRIS-Universit Claude Bernard Lyon1, 2004
- [2] F. Reinders, M.E.D. Jacobson, F.H. Post, "SSkeleton Graph Generation for Feature Shape Description", Proc. Data Visualization 2000
- [3] Remy, E., and Thiel E., "Medial Axis for chamfer distances: computing look-up tables and neighborhoods in 2D or 3D", Pattern Recognition Letters, Volume 23, Issue 6, April 2002
- [4] G. Borgefors, I. Nyström, "Efficient shape representation by minimizing the set of centres of maximal discs / spheres", Pattern Recognition Letters, Vol. 18, 1997
- [5] F. Nilsson and P-E. Danielsson, "Finding the Minimal Set of Maximum Disks for Binary Objects", Graphical Models and Image Processing, 59(1), Jan. 1997
- [6] P. Giblin, B.B. Kimia, "A Formal Classification of 3D Medial Axis Points and their Local Geometry", CVPR00,
- [7] N. Amenta, R.K. Kolluri, "The medial axis of a union of balls", Computational Geometry, Vol. 20 No. 1-2, 2001, 25-37.
- [8] Klette Gisela, "Topologic, geometric, or graph-theoretic properties of skeletal curves", Dissertation, Universität Groningen, 2007
- [9] H. Sundar, D. Silver, N. Gagvani, S. Dickinson, "SSkeleton Based Shape Matching and Retrieval" Proceedings, Shape Modelling and Applications Conference, SMI 2003, Seoul, Korea, May 2003, pp 130-142.