

# Hardwaregestütztes Stippling von medizinischen Oberflächenmodellen

Alexandra Baer, Christian Tietjen, Martin Spindler und Bernhard Preim

Institut für Simulation und Graphik  
Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, 39106 Magdeburg  
Email: alexandra@isg.cs.uni-magdeburg.de

**Zusammenfassung.** In dieser Arbeit wird ein texturbasiertes Verfahren zur hardwaregestützten Stippling-Darstellung vorgestellt, welches auf beliebige medizinische Oberflächen angewendet werden kann. Unter Verwendung von Shadern werden Stippling-Texturen auf die Oberflächen aufgebracht und eine echtzeitfähige 3D-Visualisierung generiert. Ferner ermöglicht das Verfahren eine Stippling-Darstellung der Oberflächen ohne notwendige Vorverarbeitungsschritte und unabhängig von der Komplexität des Objektgitters. Die Anforderungen an traditionelle Stippling-Illustrationen sowie an interaktive NPR-Darstellungen, wie Frame-Kohärenz und Skalierbarkeit, wurden berücksichtigt und in der Umsetzung integriert.

## 1 Einleitung

In der computergestützten medizinischen Ausbildung und Therapieplanung ist es oft wichtig, interessante und relevante anatomische Strukturen in ihrem Kontext übersichtlich darzustellen. In anatomischen Atlanten werden hierfür oft illustrative Darstellungen anstelle von Photographien verwendet, da derartige simplifizierte Illustrationen eine schnelle Informationsverarbeitung ermöglichen. Bevorzugt werden Techniken wie Silhouetten, Schraffur oder Stippling eingesetzt. Stippling ist eine Punktieretechnik, bei der die Helligkeit und die Form der Objekte durch die lokale Punktdichte auf der Struktur realisiert werden. Diese Illustrationstechnik eignet sich hervorragend, um Kontextstrukturen unauffällig darzustellen und zugleich die Form der Struktur zu verdeutlichen. Stippling ist für Organoberflächen einsetzbar, welche keine spezifische Krümmung oder Richtung aufweisen. In dieser Arbeit werden Oberflächen genutzt, die aus Segmentierungsergebnissen von CT- oder MRT-Daten abgeleitet sind. Die gewonnenen Oberflächenmodelle durchlaufen einen mehrstufigen Prozess und werden aus dem Originalobjekt mittels Segmentierung, Oberflächengenerierung und -glättung gewonnen [1].

## 2 Verwandte Arbeiten

In der Vorarbeit [2] wird eine Klassifizierung von Strukturen bzw. Objekten in Fokus-, fokusnahe und Kontextobjekte eingeführt, um auf dieser Basis Darstellungsattribute zu definieren und zuzuweisen. [2] beschreiben eine Kombination

von Silhouetten mit Oberflächen und Verfahren zur Volumenvisualisierung, wobei die Integration von Stippling als eine zusätzliche Darstellungstechnik vorgestellt wird.

In der Computergrafik existieren verschiedene Ansätze, die eine Visualisierung der Daten über Stippling ermöglichen. Für eine interaktive Echtzeit-Visualisierung müssen einerseits spezielle Anforderungen an die Skalierbarkeit der Punkt-Primitive auf der Objektoberfläche sowie an die Frame-Kohärenz erfüllt sein und andererseits wesentliche Merkmale einer Stippling-Illustration integriert werden. Die hierfür geeigneten Methoden können in objekt-, volumen- und texturbasierte Ansätze unterteilt werden. [3] entwickelten ein direktes Volumen-Rendering-Verfahren, mit dem medizinische Volumendaten über Stippling dargestellt werden. [4] ist ein objektbasiertes Verfahren, um eine Animation statischer Oberflächenmodelle zu ermöglichen. Beide Verfahren erzeugen in einem Vorverarbeitungsschritt eine maximale Anzahl von Punkten. Wird zu nah an die Struktur herangezoomt, reicht die Anzahl der vordefinierten Punkte nicht mehr aus, um die Struktur angemessen darstellen zu können.

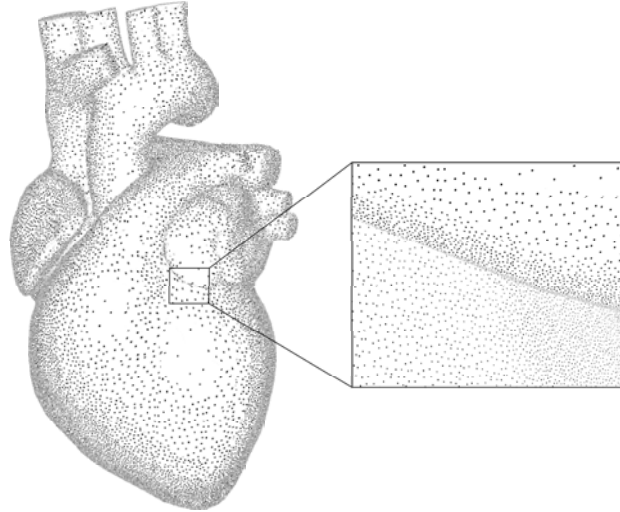
Bisherige Ansätze haben eine hohe Vorverarbeitungszeit, sind nicht beliebig skalierbar oder frame-kohärent und können nicht problemlos mit anderen Verfahren kombiniert werden.

Texturbasiertes Stippling ist sehr effizient, erfordert allerdings eine verzerrungsfreie Texturabbildung. Wenn keine Texturkoordinaten für die Modelle festgelegt sind, wird die Textur über eine Zwischengeometrie (Zylinder, Würfel) auf das eigentliche Modell projiziert. Von der Grafik-Hardware wird bestenfalls das Cube-Mapping unterstützt, welches einen umliegenden texturierten Würfel auf das Objekt abbildet. Das Polycube-Verfahren [5] ermöglicht für komplexe Objekte eine Texturabbildung mit geringer Verzerrung. Hierbei muss in einem Vorverarbeitungsschritt das Objekt in eine Würfelhierarchie unterteilt werden. Für texturbasierte Techniken wurden die Tonal-Art-Maps (TAM) eingeführt [6]. TAMs sind Texturen, die Kohärenz zwischen verschiedenen Helligkeits- und Auflösungsstufen besitzen und somit Frame-Kohärenz und Skalierbarkeit gewährleisten. Die Texturkoordinaten müssen dazu vorab festgelegt werden.

### 3 Methode

Die benötigten Oberflächen werden mittels Marching Cubes aus binären Segmentierungsmasken erstellt. Für den Einsatz von illustrativen Techniken ist in der Regel noch eine Glättung der Oberflächen nötig, um mögliche resultierende Artefakte wie Ausfransungen bzw. Treppenstufen nicht unvermeidlich zu betonen. Die Auswahl und Parametrisierung der Glättungsverfahren hängt dabei von der Art der anatomischen Struktur z.B. Organ oder Muskel ab [1]. Die gewonnenen Dreiecksnetze können dann von der Grafik-Hardware beschleunigt texturiert werden. Die Texturabbildung erfolgt im Fragment Shader und setzt sich aus dem Cube Mapping und dem Polycube-Ansatz zusammen, um mögliche Texturverzerrungen zu minimieren.

**Abb. 1.** Eine Darstellung des Herzens, wobei die Oberfläche ausschließlich durch Punkte repräsentiert wird, sowie eine Detailansicht nach Heranzoomen eines bestimmten Objektbereiches.

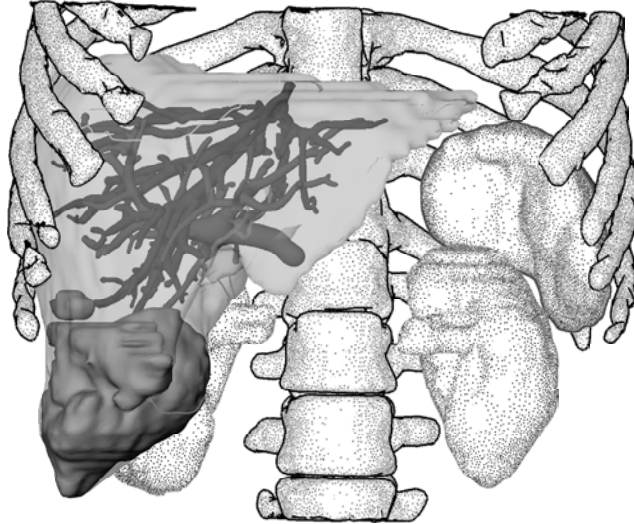


Da nur Stippling-Punkte dargestellt werden sollen, lassen sich diese Verfahren stark vereinfachen. Zum einen entfallen zeitintensive Operationen zur Generierung eines objektspezifischen Polycubes, da der Objektraum als eine Unterteilung in Einheitswürfel betrachtet wird und somit keine Umformungen des Objektes notwendig sind. Zum anderen ist eine Textur für alle Seiten an Stelle von sechs Texturen beim Cube Mapping ausreichend.

Aufgrund der verwendeten Stippling-Textur sind alle Berechnungen für die Texturabbildung anhand eines Referenzwürfels durchführbar. Die Koordinaten der Eckpunkte werden mittels Modulo-Operation in diesen Würfel abgebildet. Für einen Oberflächenpunkt wird zunächst durch die Beleuchtungsberechnung der Grauwert ermittelt und somit die zu verwendende Textur bestimmt. Der Schnittpunkt der Normalen mit der Würfelseite definiert das korrespondierende Texel. Stauchungen und Streckungen der Textur auf dem Objekt können mit der Unterteilung in mehrere Würfel sowie durch die Betrachtung des Normalenvektors für die Bestimmung der Würfelseite minimiert werden. Es wird eine Annäherung an eine flächentreue und konforme Abbildung erreicht.

Der Würfel muss geeignet skaliert werden. Wird er zu klein, wird die Textur zu einer grauen Fläche interpoliert. Wird der Würfel zu groß, kann die Textur nicht mehr verzerrungsfrei abgebildet werden. Außerdem würde bei einem sehr hohen Zoomfaktor die Punktdichte der Textur sehr gering ausfallen. Deswegen wird das MIP-Mapping über eine variierende Würfelgröße realisiert. Die Kantenlänge eines Würfels entspricht immer einer Zweierpotenz (die kleinste Würfellänge ist 1). Wenn nah an das Objekt herangezoomt wird, erfolgt eine Unterteilung des Objektes in mehr Würfel (siehe Abb. 1). Zur Überblendung auf die höhere Würfelhierarchie wird das TAM-Konzept genutzt. Die Punktverteilung

**Abb. 2.** Kombination verschiedener Illustrationstechniken zur Darstellung von Kontextobjekten und fokusnahen Strukturen (Leber mit intrahepatischen Strukturen).



auf der Textur ist selbstständig aufgebaut, so dass die dunklen Punkte bei halber Kantenlänge in der großen Texturabbildung enthalten sind. Die gleichmäßige Verteilung der Punkte wurde mit dem Poisson-Disk-Verfahren umgesetzt [7].

## 4 Ergebnisse

Es wurden verschiedene medizinische Modelle (Gehirn, Herz, Leber, Niere etc.) visualisiert und die Geschwindigkeit ihrer Darstellung in Frames per Second (fps) gemessen (siehe Abb. 1 und 2). Zusätzlich wurde ein Stanford Bunny (kein medizinisches Objekt) gewählt, um einen Vergleich zu in anderen Veröffentlichungen vorgestellten Verfahren zu ermöglichen. Alle Werte wurden auf einer Nvidia GeForce 6600 GT PCI Express Grafikkarte gemessen. Die Auswertung hat gezeigt, dass mit Verwendung der Shader die Darstellungsgeschwindigkeit bei dem Stanford Bunny 63 fps beträgt, unabhängig von der Menge der Stippling-Punkte auf dem Objekt. Der objektbasierte Ansatz [4] erreicht bei diesem Objekt 56 fps mit einer Nvidia GeForce 4 Grafikkarte und 120.000 generierten Punkten. Außerdem benötigt er eine aufwändige Vorverarbeitung von 2:31min.

Mit unserem Ansatz kann eine Stippling-Darstellung unabhängig von der Menge der darzustellenden Punkte erfolgen. Die Anzahl der Punkte wird für die Textur festgelegt und wirkt sich demzufolge nicht nachteilig auf die Darstellungsgeschwindigkeit aus. Alle auszuführenden Berechnungen werden direkt auf der Grafikkarte und ohne vorherige Vorverarbeitung des Geometriemodells ausgeführt.

Das Verfahren ist einfach, aber sehr effektiv. Die Vorteile liegen u.a. darin, dass keine Parametrisierung notwendig ist. Die Dichte, Größe und Farbe

der Punkte sind vom Benutzer beliebig einstellbar. Die Darstellung ist framekohärent und kann beliebig skaliert werden. Eine Verzerrung der Stippling-Punkte durch die Texturabbildung ist nicht wahrnehmbar. Das Verfahren lässt sich problemlos in die Rendering-Pipeline [2] integrieren, so dass noch anspruchsvollere Visualisierungen generiert werden können. Abb. 2 zeigt eine Komposition verschiedener Techniken. Strukturen, die Kontextinformationen liefern, werden hier mittels Stippling und Silhouetten abgebildet. Fokusnahe Objekte hingegen werden über Transparenz, Farbe oder wie in Abb. 2 über verschiedene Graustufen hervorgehoben.

## 5 Diskussion

Einsatzmöglichkeiten dieser Technik liegen in der medizinischen Ausbildung und Therapieplanung. Kombiniert mit [2] ist diese Technik eine Erweiterung der Darstellungsmöglichkeiten von größeren Kontextobjekten. In Bezug auf die Therapieplanung muss eine Evaluierung durchgeführt werden, um festzustellen, ob mit dieser Technik eine schnellere Wahrnehmung der dargestellten Informationen gegeben ist. Für die wichtigen anatomischen Strukturen müssen Punktdichte und Punktgröße ebenfalls noch ermittelt werden.

**Danksagung.** Diese Arbeit ist Teil des von der DFG geförderten Schwerpunktprogramms „Medical Navigation and Robotics“ (1124, PR 660/3-1).

## Literaturverzeichnis

1. Bade R, Haase J, Preim B. Grundlegende Algorithmen und Strategien zur Glättung medizinischer Oberflächenmodelle. In: SimVis 2006; 2005. .
2. Tietjen C, Isenberg T, Preim B. Combining Silhouettes, Surface, and Volume Rendering for Surgery Education and Planning. In: IEEE/Eurographics Symposium on Visualization (EuroVis); 2005. p. 303–310.
3. Lu A, Morris CJ, Ebert DS, et al. Non-Photorealistic Volume Rendering using Stippling Techniques. In: VIS '02. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society; 2002. p. 211–218.
4. Meruvia-Pastor OE, Freudenberg B, Strothotte T. Real-Time Animated Stippling. IEEE Computer Graphics and Applications 2003;23(4):62–68.
5. Tarini M, Hormann K, Cignoni P, et al. PolyCube-Maps. ACM Transactions on Graphics 2004;23(3):853–860.
6. Praun E, Hoppe H, Webb M, et al. Real-Time Hatching. In: Fiume Eugene, editor. SIGGRAPH '01; 2001. p. 579–584.
7. McCool M, Fiume E. Hierarchical Poisson Disk Sampling Distributions. In: Proceedings of the conference on Graphics Interface '92. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc.; 1992. p. 94–105.