

die physikalisch funktionalen Restriktionen der Transformationsrichtungen (Wasser – Land und vice versa) angegeben werden, nicht jedoch – bezogen auf die einzelne Form – die tatsächliche Transformation. Um hier zu eindeutigen Ergebnissen zu kommen, ist zunächst eine umfassende funktionelle Beschreibung möglichst aller konstruktiven Optionen der Bauform „vertebrater Tetrapoden“ notwendig. Dies geschieht hier im Anschluß an eine Übersicht von GUTMANN (1994). Die Haupttransformationsrichtungen werden ausgehend von einer vermuteten Vorläuferkonstruktion so beschrieben, daß alle Bewegungsformen als Ergebnis rein funktionaler Restriktionen dargestellt werden können. Es zeigt sich, daß von den jeweils erreichten Konstruktionsniveaus ausgehend mehrfache Wasser – Land – Wasser Transformationen denkbar sind.

Aufbauend auf den vorgelegten Ergebnissen können weitere - ökologische, physiologische und genealogische - Daten integriert werden.

HistoStack3D – EIN NEUES TOOL ZUR 3D-REKONSTRUKTION VON TOMOGRAPHISCHEN DATEN

Michael GUDO & Mark PEINL

Morphisto - Evolutionsforschung und Anwendung GmbH, Senckenberganlage 25, D-60325 Frankfurt am Main;
e-mail: mgudo@morphisto.de

Problemstellung

HistoStack3D ist ein neues Softwarepaket zur dreidimensionalen Rekonstruktion von histologischen Schnittserien und zur Visualisierung von tomographischen Datensätzen. Grundlegendes Problem bei der 3D-Rekonstruktion histologischer Schnittserien ist die Referenzierung von Einzelschnitten einer Serie, die durch den Schneidevorgang ihren Raumbezug verloren haben. In bisherigen Verfahren wird dieses Problem durch den Einsatz von internen oder externen Referenzmarken gelöst, um somit einen räumlichen Bezug für jeden einzelnen Schnitt herzustellen.

Interne Referenzmarken – die im Einzelschnitt sichtbaren inneren und äußeren Objektkonturen des eingebetteten Präparats – erlauben jedoch nur eine relative Referenzierung. Die Alignierung zweier aufeinander folgender Schnitte einer Serie kann hier nur mit den Objektkonturen erfolgen, und ist demnach von der Form des Präparats abhängig. Die daraus resultierenden 3D-Modelle werden nicht notwendigerweise mit dem realen Objekt übereinstimmen. Externe Referenzmarken, d.h. zusätzliche, präparatfremde Marken, wie z.B. Löcher, eingebettete Haare oder speziell zugeschnittene Blockränder, ermöglichen dagegen eine unabhängige, absolute Orientierung der Einzelschnitte und damit auch eine Erstellung von objektiveren 3D-Modellen, als dies durch den alleinigen Einsatz von internen Referenzmarken möglich wäre. Auch wenn dieses Kriterium für die meisten Benutzer ausschlaggebend ist, um ihre Rekonstruktionen mit externen Referenzmarken durchzuführen, ist diese Methode doch nicht ohne Nachteile. Dazu zählt die Beschränkung auf harte Einbettungsmedien, wie z.B. Kunststoff, da nur hier diese Referenzmarken beim histologischen Bearbeitungsvorgang erhalten bleiben, ebenso auch eine erforderliche Mindestgröße des zu rekonstruierenden Ausschnitts, da die abseits des Präparats befindlichen Referenzmarken Teil dieses Ausschnitts sein müssen. Eingeschränkte Färbemöglichkeiten limitieren die histologischen Interpretationsmöglichkeiten. Zudem ist die Herstellung hart eingebetteter Präparate mit externen Referenzmarken schwierig und der instrumentelle Aufwand für ihre Erfassung oftmals hoch.

Vor dem alternativen Einsatz interner Referenzmarken bei weich eingebetteten Präparaten (z.B. Paraffin oder Celloidin), mit den Vorteilen der einfacheren Herstellung und Handhabung sowie den umfangreicheren Färbemöglichkeiten, ist jedoch das bereits erwähnte Problem der eingeschränkten Aussagekraft der daraus erstellten 3D-Modelle zu lösen. Erschwerend kommt hinzu, daß gerade bei weichen Einbettungsmedien teilweise starke, insbesondere auch lokale Verzerrungen, u.a. richtungsabhängige Stauchungen und Streckungen innerhalb der Einzelschnitte auftreten. Für die Korrektur solcher Verzerrungseffekte und der nicht vorhandenen Orientierung der Einzelschnitte haben sich in diesem Softwaresegment affine Transformationen durchgesetzt. Hierzu zählen die Translation und Rotation. Scherung, um einfache Formen der Verzerrung zu korrigieren, erfolgt fast ausschließlich nur bei der Verwendung von externen Referenzmarken in harten Einbettungsmedien. Doch gerade bei weicher Einbettung mit der größeren Anfälligkeit für diese Verzerrungen ist der Einsatz von Scherung zur Korrektur notwendig. Bisherige Korrekturverfahren haben in dieser Hinsicht noch keine Qualitätsverbesserung der 3D-Modelle erzielen können. Auf die Scherung als Korrekturschritt bei weicher Einbettung wurde deshalb bislang verzichtet.

HistoStack3D

HistoStack3D verfolgt einen neuen Ansatz, um einfache Verzerrungen zu korrigieren. Grundlage des Korrekturverfahrens ist die Annahme, daß keine beliebigen Verzerrungen auftreten können und scheinbare Verzerrungen, die durch Formänderungen des Präparats hervorgerufen werden, sich von 'normalen' Verzerrungen, entstanden in Folge des histologischen Bearbeitungsvorganges, unterscheiden. Damit wird eine wesentliche Verbesserung sowohl der Darstellungsqualität als auch der Objektivität der 3D-Modelle erreicht. Verbleibende Translations- und Rotationsfehler lassen sich durch geeignete Wahl der Schnitttrichtung, in Abhängigkeit von vorhandenen Symmetrieachsen und Symmetrieebenen des Präparats, mindern.

Durch die Korrektur von Verzerrungen wird bei der Alignierung der Einzelbilder eine ausreichend hohe Qualität erreicht, um auf eine vektorielle Bearbeitung der Bilder, dem manuellen oder automatischen Nachzeichnen von Objektkonturen, wie es bei vielen Applikationen zur Erstellung von 3D-Modellen notwendig ist, verzichten zu können. HistoStack3D erzeugt stattdessen einen Volumendatensatz, der, im Gegensatz zu den Grauwerten von CT- oder MRT-Datensätzen, alle Farbinformationen, d.h. die RGB-Farbwerte der Ausgangsbilder, beinhaltet. Ein Marching-Cube Verfahren generiert nachfolgend mit einem an die Erfordernisse der Histologie angepassten Segmentierungsalgorithmus 3D-Modelle. Durch Verwendung von Grafikkarten zur hardwarebeschleunigten 3D-Darstellung können diese Modelle in Kombination mit dem Volumendatensatz in Echtzeit dargestellt werden. Schnittebenen durch den Volumendatensatz in beliebiger Anzahl und Orientierung, dabei aber ebenfalls echtzeitfähig, erweitern die Möglichkeiten des Benutzers zur Interaktion und Analyse seiner Daten.

