

Feature- und Deformationsmodell-basierte Registrierung von 3D Volumendaten von Zebrafischen

Mario Emmenlauer

22. Mai 2007

Übersicht

Motivation

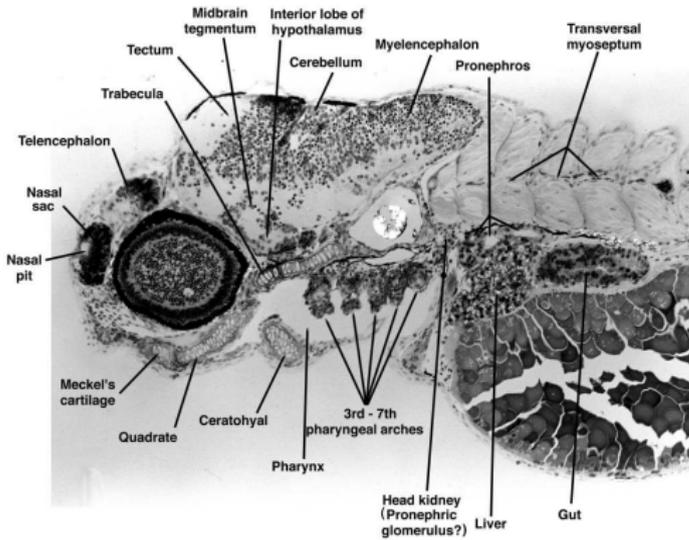
Vorverarbeitung

Interest Point Detektor

Merkmale

Registrierung

Bisheriger Zebrafischatlas



- ▶ Bildet einzelne Ansichten eines repräsentativen Wildtypen in hoher Auflösung ab
- ▶ Manuell von Experten segmentiert

Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit bildet die Grundlage für einen neuen Zebrafischatlas.

Nahe Ziele

- ▶ Automatische Segmentierung des Organismus
- ▶ Interaktiv wählbare Ansicht in 3D

Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit bildet die Grundlage für einen neuen Zebrafischatlas.

Nahe Ziele

- ▶ Automatische Segmentierung des Organismus
- ▶ Interaktiv wählbare Ansicht in 3D

Fernziele

- ▶ Mittelung eines Durchschnitts-Organismus
- ▶ Einbettung von Genexpressionsdaten
- ▶ Zeitliche Verläufe

Übersicht

Motivation

Vorverarbeitung

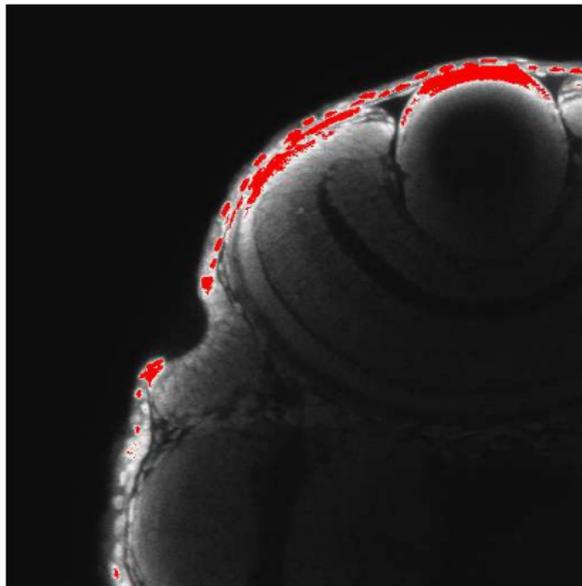
- ▶ Aufnahmen mit hohem Kontrastumfang
- ▶ Positionierung der Bildstapel
- ▶ Bestimmen von Verzeichnungen
- ▶ Ausbleichkorrektur
- ▶ Anwendung auf andere Datensätze
- ▶ Dorsal-ventral Registrierung

Interest Point Detektor

Merkmale

Registrierung

Aufnahmen mit hohem Kontrastumfang



Problem:

- ▶ Intensitätsunterschiede verursacht durch die physische Dicke des Objekts
- ▶ Abhängigkeit vom Auflösungsbereich des Sensors

Aufnahmen mit hohem Kontrastumfang

Lösung: Kombination mehrer Aufnahmen mit verschiedenen Intensitäten zu einer Aufnahme mit hohem Kontrastumfang.

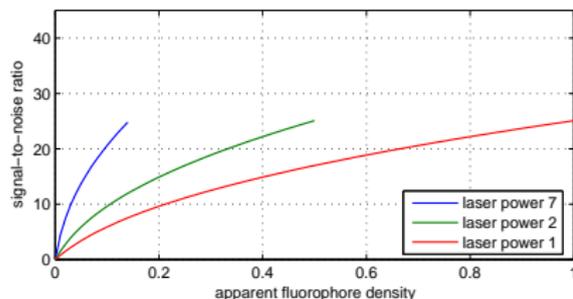
Nach Bestimmung der linearen Abbildungsparameter $f(i)$, $o(i)$ addieren sich die Intensitätsverteilungen $I_i(\mathbf{x})$:

$$I(\mathbf{x}) = \sum_{\substack{i=1 \\ I_i(\mathbf{x}) < 255}}^n f(i)I_i(\mathbf{x}) + o(i)$$

Gleichzeitige Fehler-Normierung möglich.

Aufnahmen mit hohem Kontrastumfang

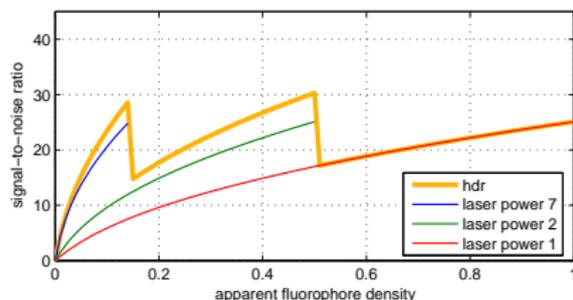
Modellannahme für Fluorophor



- ▶ Signal-Rausch-Verhältnis, aufgetragen über der scheinbaren Fluorophordichte

Aufnahmen mit hohem Kontrastumfang

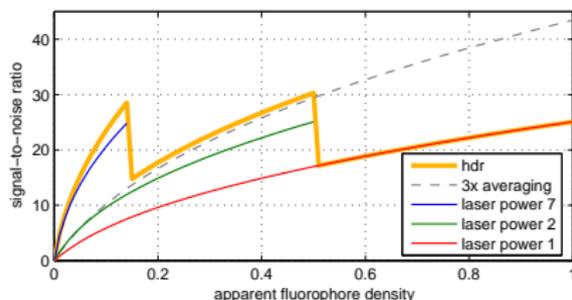
Modellannahme für Fluorophor



- ▶ Signal-Rausch-Verhältnis, aufgetragen über der scheinbaren Fluorophordichte
- ▶ Rekombination der Aufnahmen erreicht durchgängig hohes S/R-Verhältnis

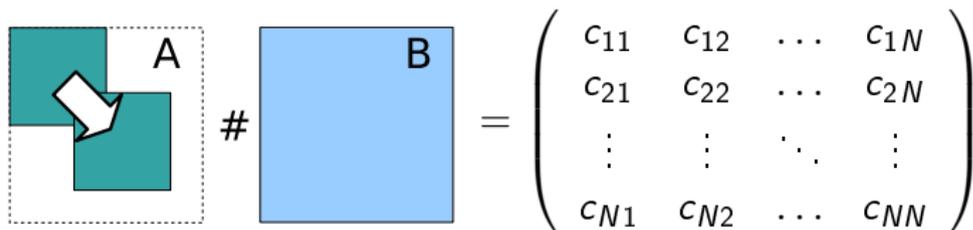
Aufnahmen mit hohem Kontrastumfang

Modellannahme für Fluorophor



- ▶ Signal-Rausch-Verhältnis, aufgetragen über der scheinbaren Fluorophordichte
- ▶ Rekombination der Aufnahmen erreicht durchgängig hohes S/R-Verhältnis
- ▶ Die Mehrfachmittelung hat kein durchgängiges S/R-Verhältnis

Positionierung der Bildstapel

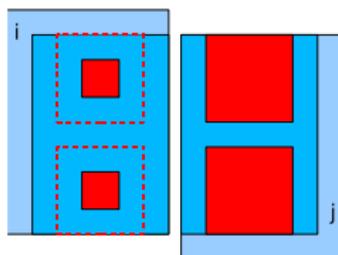


Korrelation zweier Bilder A und B unterschiedlicher Dimension, hier im 2D-Fall. Bild A wird bis zur Größe von B mit Nullen aufgefüllt, und unter allen Verschiebungen mit A korreliert.

Laufzeit $O(N \log N)$ für N Voxel bei Verwendung der DFT.

Positionierung der Bildstapel

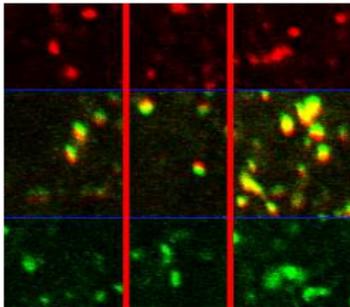
Korrelation kleinerer Teilfenster bringt Vorteile:



- ▶ geringerer Aufwand für geringe Anzahl korrelierender Fenster

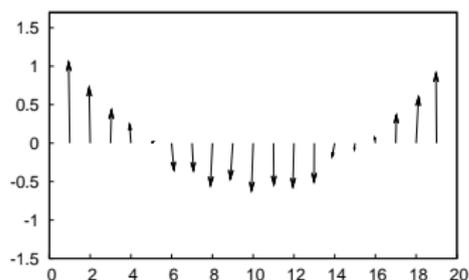
Positionierung der Bildstapel

Korrelation kleinerer Teilfenster bringt Vorteile:



- ▶ geringerer Aufwand für geringe Anzahl korrelierender Fenster
- ▶ Bestimmung von Verzeichnungen möglich, durch fitting einer Funktion 2ter Ordnung

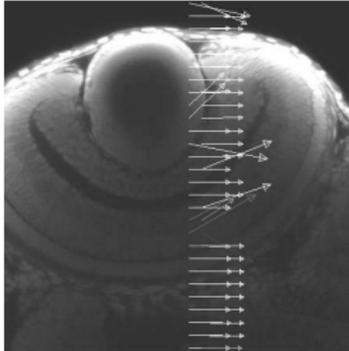
Bestimmen von Verzeichnungen



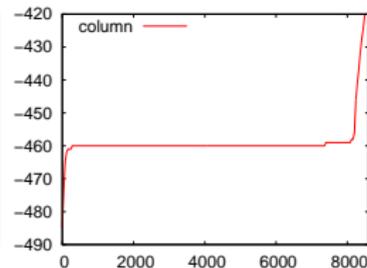
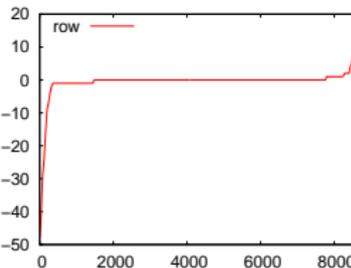
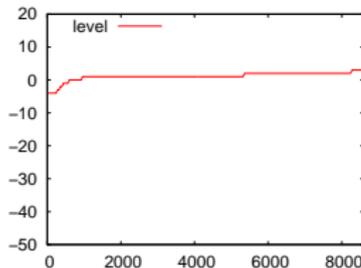
- ▶ gesucht: $ax^2 + bx + c$
- ▶ Bestimmung der Funktionsparameter a , b , c mithilfe der pseudoinversen Matrix aus:

$$\begin{pmatrix} x_1^2 & x_1 & 1 \\ x_2^2 & x_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n^2 & x_n & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}$$

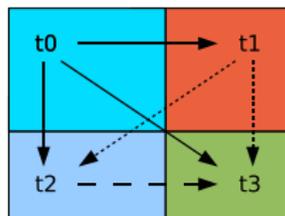
Positionierung der Bildstapel



- ▶ Gewichten der Verschiebungen mit den Korrelationskoeffizienten.
- ▶ Komponentenweise Medianfilterung ergibt Versatz in den drei Raumrichtungen.



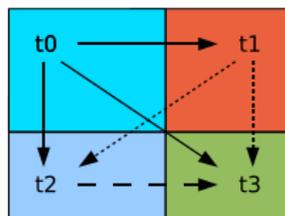
Positionierung der Bildstapel



Die paarweisen Verschiebungen bilden ein überbestimmtes Gleichungssystem, das mithilfe der pseudoinverse Matrix im Sinne minimaler Fehlerquadrate gelöst werden kann.

$$\begin{pmatrix} V_x(0,1) \\ V_x(0,2) \\ V_x(0,3) \\ V_x(1,2) \\ V_x(1,3) \\ V_x(2,3) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_x(0) \\ p_x(1) \\ p_x(2) \\ p_x(3) \end{pmatrix}$$

Positionierung der Bildstapel



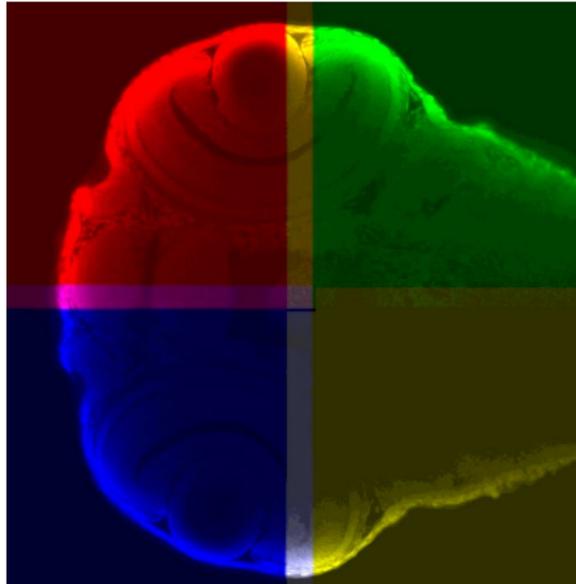
Die paarweisen Verschiebungen bilden ein überbestimmtes Gleichungssystem, das mithilfe der pseudoinverse Matrix im Sinne minimaler Fehlerquadrate gelöst werden kann.

- Fixieren von Position $p_x(0) = 0$:

$$\begin{pmatrix} V_x(0, 1) \\ V_x(0, 2) \\ V_x(0, 3) \\ V_x(1, 2) \\ V_x(1, 3) \\ V_x(2, 3) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_x(1) \\ p_x(2) \\ p_x(3) \end{pmatrix}$$

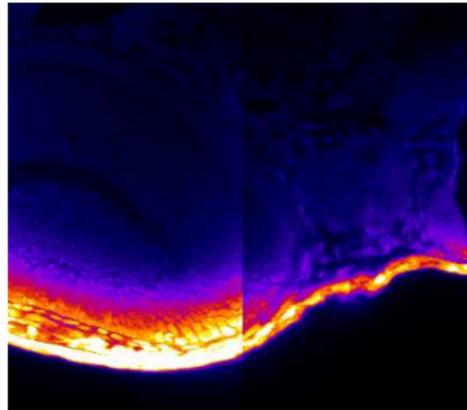
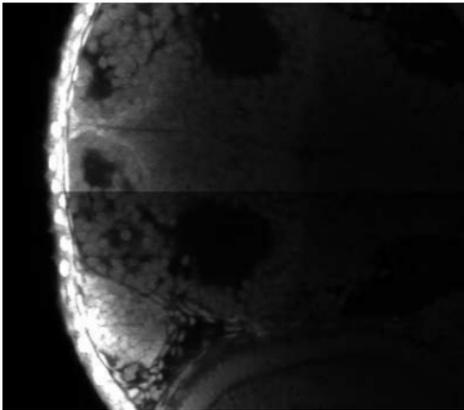
Positionierung der Bildstapel

Stitching mit farblicher Hervorhebung zur Kontrolle:



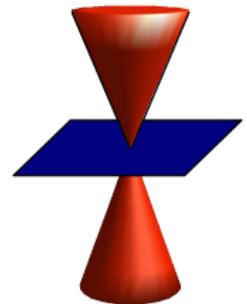
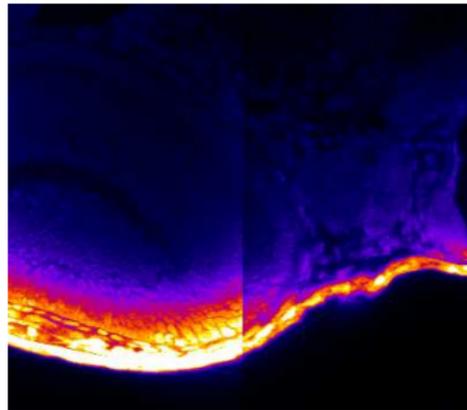
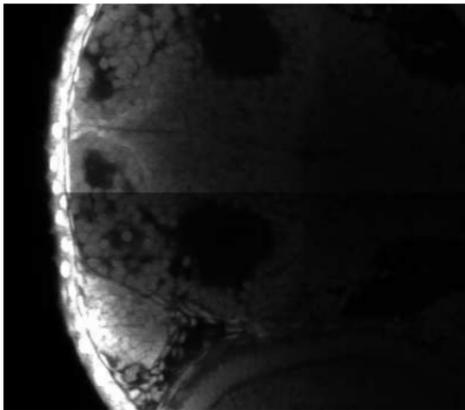
Ausbleichen des Fluorophors

Laserlicht hoher Intensität kann zu irreversibler Zerstörung des Fluoreszenzmarkers führen (Ausbleichung).

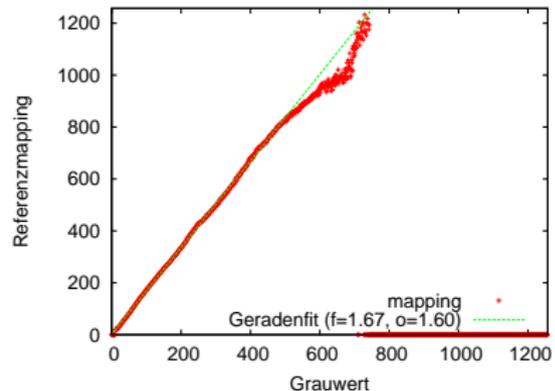
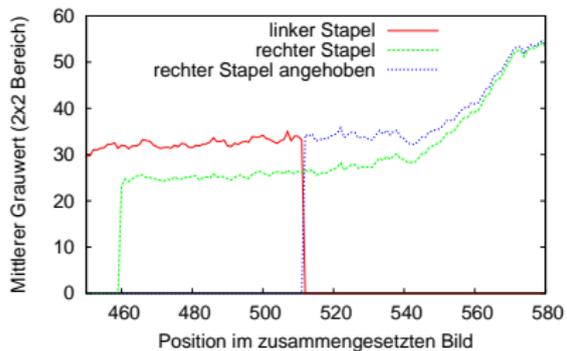


Ausbleichen des Fluorophors

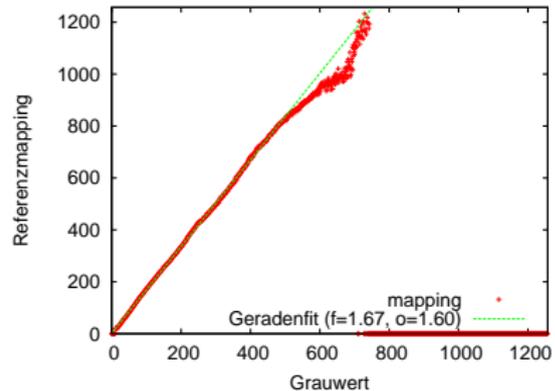
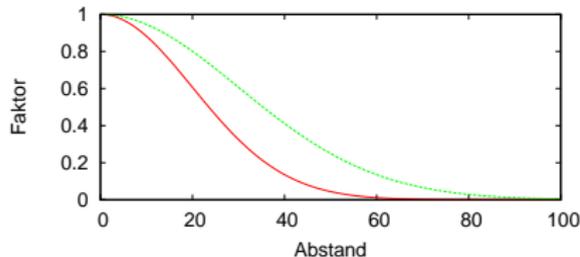
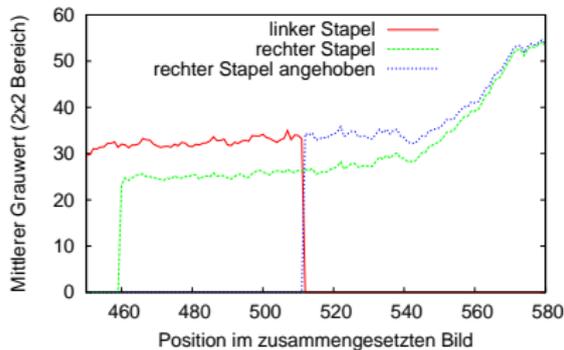
Laserlicht hoher Intensität kann zu irreversibler Zerstörung des Fluoreszenzmarkers führen (Ausbleichung).



Ausbleichen des Fluorophors



Ausbleichen des Fluorophors



- Gaussfunktion $G_{\sigma}(x)$ ergibt beste Ergebnisse

Motivation

Vorverarbeitung

Interest Point Detektor

Merkmale

Registrierung

High dynamic Range

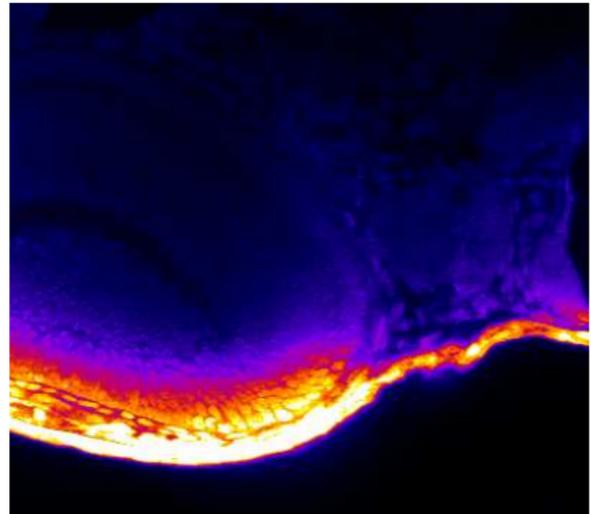
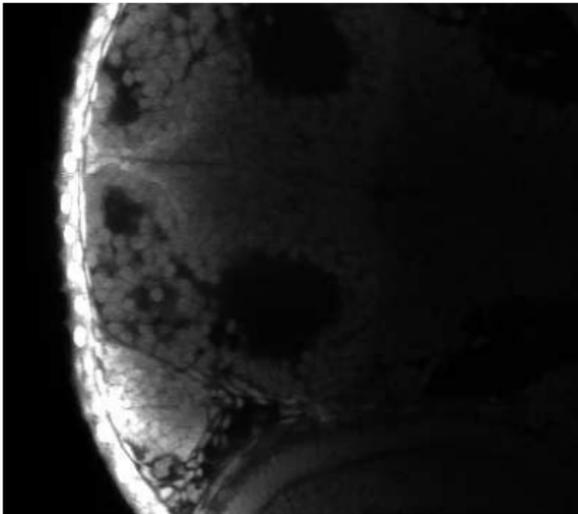
Positionierung der Bildstapel

Ausbleichkorrektur

Andere Datensätze

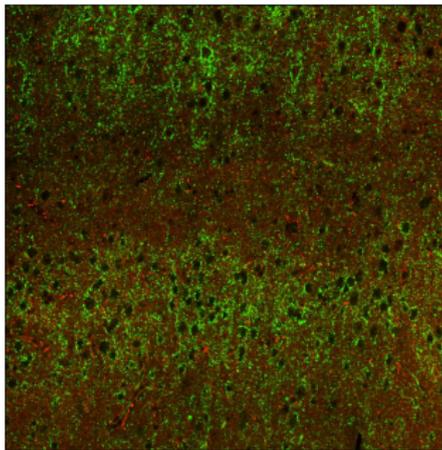
dorsal-ventral Registrierung

Rekombination mit Ausbleichkorrektur

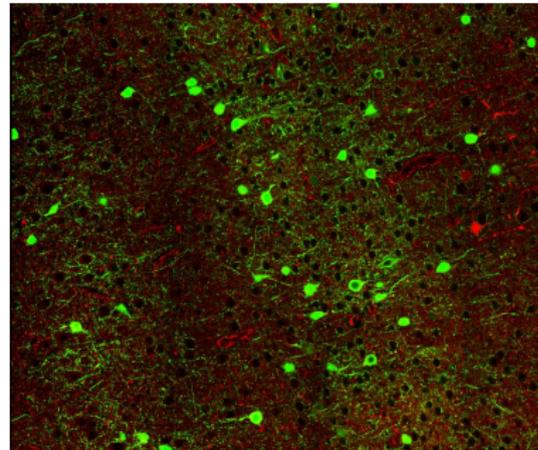


Anwendung auf andere Datensätze

Ausschnitte aus rekombinierten Abbildungen von Gehirnzellen von Mäusembryonen. Kanal 0 wurde grün, Kanal 1 rot eingefärbt.



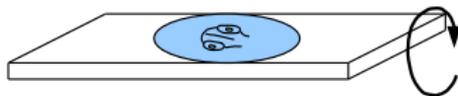
3 × 6 Einzelstapel



5 × 5 Einzelstapel

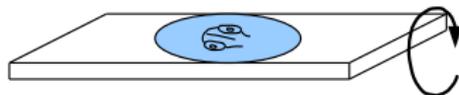
dorsal-ventral Registrierung

Bestimmung der Transformationsparameter der kongruenten Abbildung (Rotation und Translation) nötig:

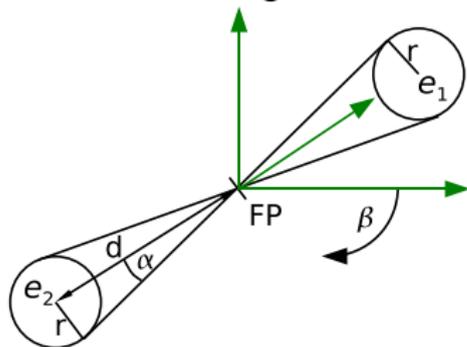


dorsal-ventral Registrierung

Bestimmung der Transformationsparameter der kongruenten Abbildung (Rotation und Translation) nötig:



Quantisierung der Korrelationsparameter:



$$\Delta FP = r$$

$$x, y, z \in \{-\Delta FP, \dots, \Delta FP\}$$

$$\varphi, \vartheta \in [-\alpha, \alpha]$$

$$\psi \in [-\beta, \beta]$$

Motivation

Vorverarbeitung

Interest Point Detektor

Merkmale

Registrierung

High dynamic Range

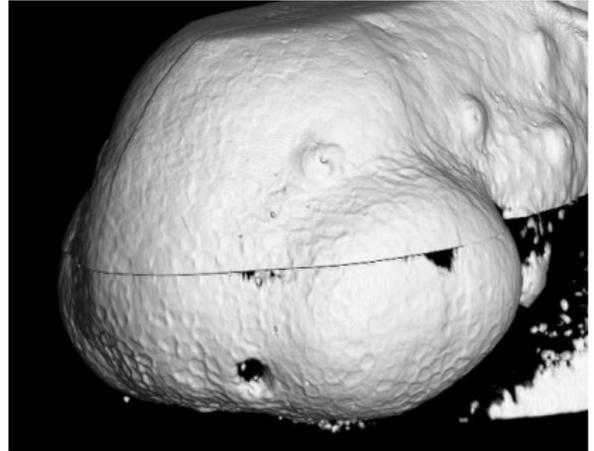
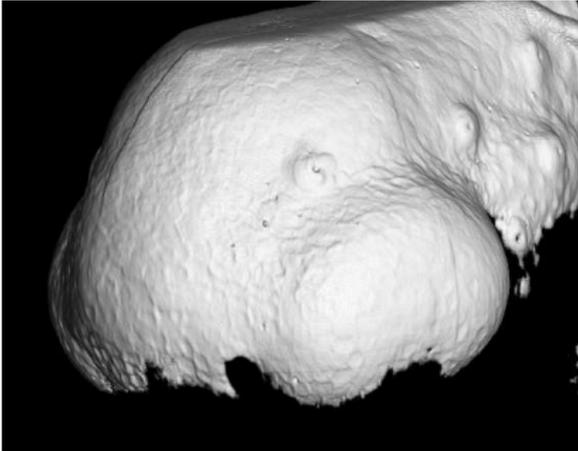
Positionierung der Bildstapel

Ausbleichkorrektur

Andere Datensätze

dorsal-ventral Registrierung

dorsal-ventral Registrierung



Oberflächen-Rendering. Links dorsale Aufnahme. Rechts Rekombination aus dorsaler und ventraler Aufnahme.

Übersicht

Motivation

Vorverarbeitung

Interest Point Detektor

- ▶ Eigenschaften
- ▶ Definition
- ▶ Anwendung

Merkmale

Registrierung

Definition der gewünschten Eigenschaften

Gewünschte Eigenschaften des Interest Point Detektors:

- ▶ Detektion von Geraden- und Flächenstücken in 3D
- ▶ Gute Lokalisation der Sprungstelle
- ▶ Nur genau eine Antwort auf eine Sprungstelle
- ▶ Keine Kantenverfolgung, sondern Interest Point Detektion

- ▶ Gradient des Grauwertbildes als Indiz für Kante
- ▶ Test auf Sprungstelle in den umliegenden Raumrichtungen mit dem non-maximum-suppression Filter

$$I' = G_{\sigma} * I$$

$$\nabla I' = \left(\frac{\partial I'}{\partial x}, \frac{\partial I'}{\partial y}, \frac{\partial I'}{\partial z} \right)$$

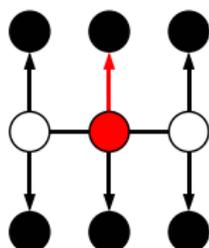
$$M(\mathbf{p}) = \|\nabla I'(\mathbf{p})\|$$

$$\mathbf{g}(\mathbf{p}) = \frac{\nabla I'}{\|\nabla I'(\mathbf{p})\|}$$

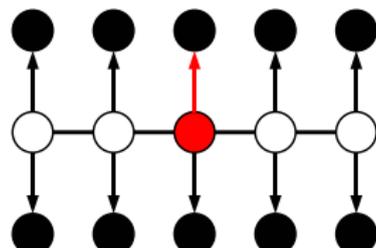
$$nms_{point}(\mathbf{p}, d) = \begin{cases} 1 & \text{falls } M(\mathbf{p} \pm d \cdot \mathbf{g}(\mathbf{p})) < M(\mathbf{p}) \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$



nms_{point}



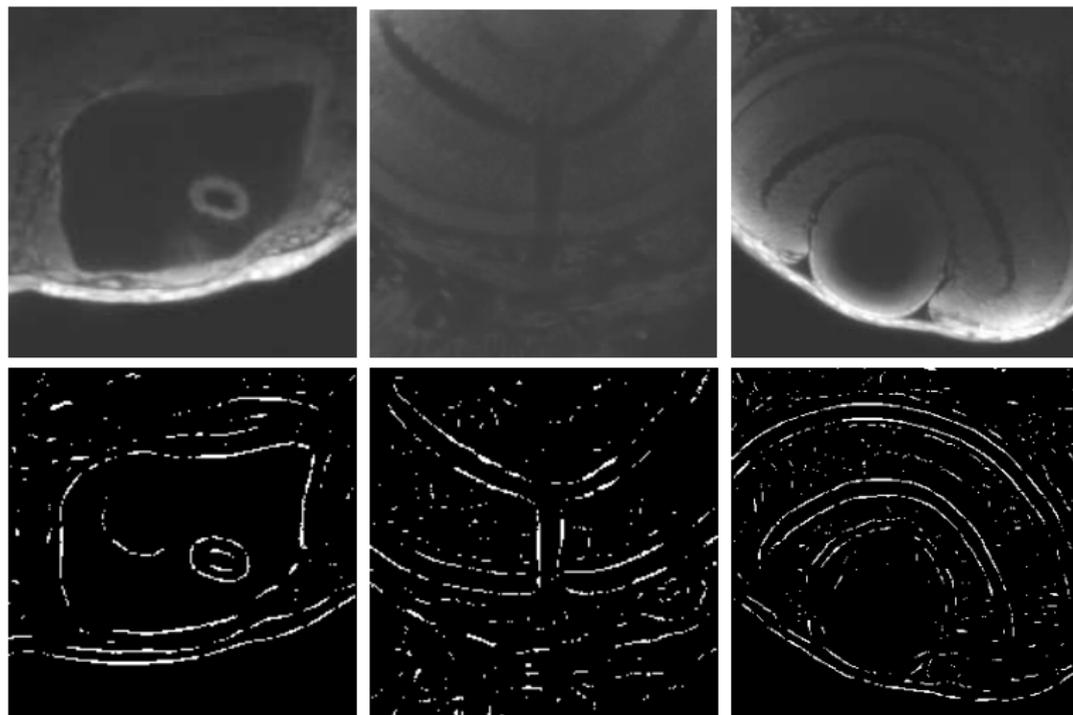
nms_{line} , Schrittweite 1

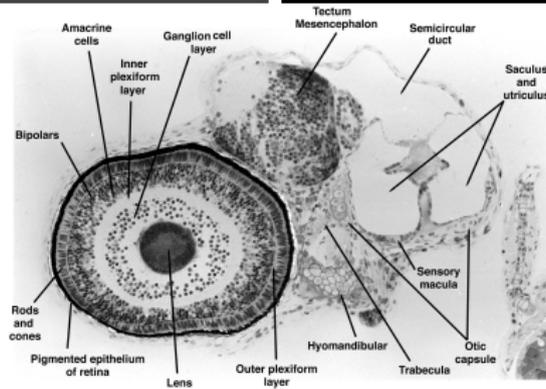
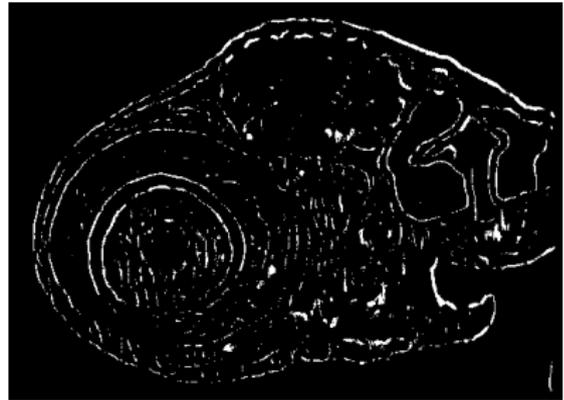
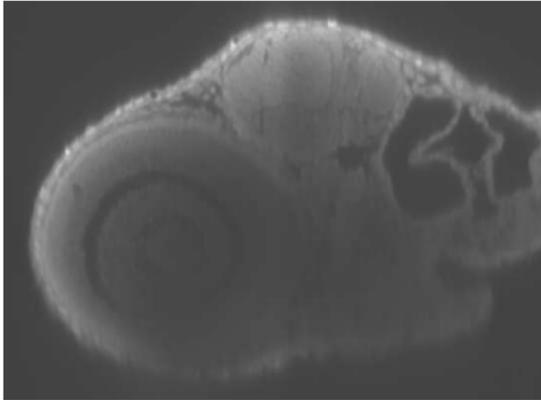


nms_{line} , Schrittweite 2

$$nms_{point}(\mathbf{p}, d) = \begin{cases} 1 & \text{falls } M(\mathbf{p} \pm d \cdot \mathbf{g}(\mathbf{p})) < M(\mathbf{p}) \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$nms_{line}(\mathbf{p}, d) = \begin{cases} 1 & \text{falls } nms_{point}(\mathbf{p}, d) = 1 \\ & \text{und } nms_{point}(\mathbf{p} \pm d \cdot \mathbf{g}^\perp(\mathbf{p}), d) = 1 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$





Übersicht

Motivation

Vorverarbeitung

Interest Point Detektor

Merkmale

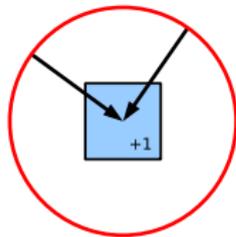
- ▶ Hough-Transformation
- ▶ Grauwertprofil-Merkmale
- ▶ Gradientenbasierte Merkmale

Registrierung

Hough-Transformation zur Detektion der Pupillen

Abbildung des Bildraums in einen Parameterraum, in dem die Detektion vereinfacht ist.

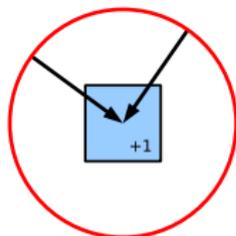
Detektion von Kugeln mithilfe eines Akkumulators:



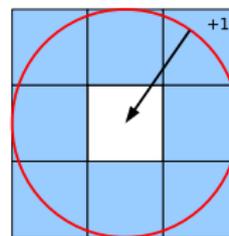
Hough-Transformation zur Detektion der Pupillen

Abbildung des Bildraums in einen Parameterraum, in dem die Detektion vereinfacht ist.

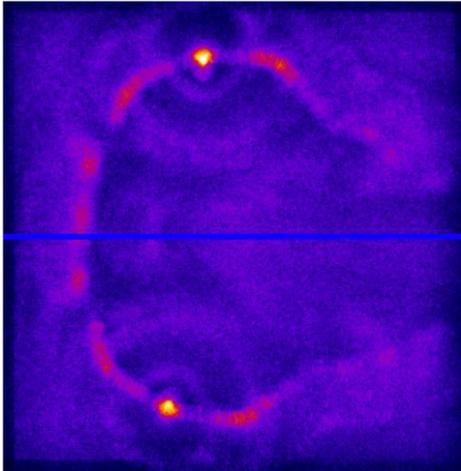
Detektion von Kugeln mithilfe eines Akkumulators:



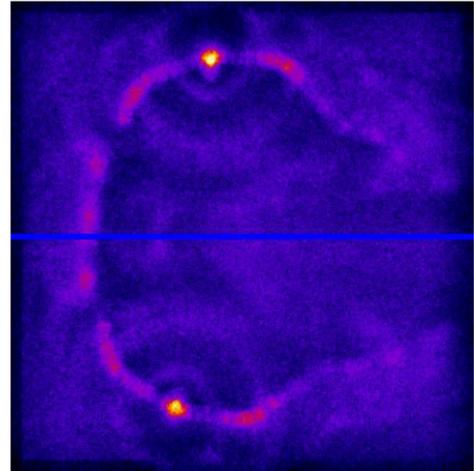
Verbesserung der Robustheit durch Quantisierung der Gradientenrichtung:



Hough-Transformation mit sichtbaren Maxima an den Pupillen:



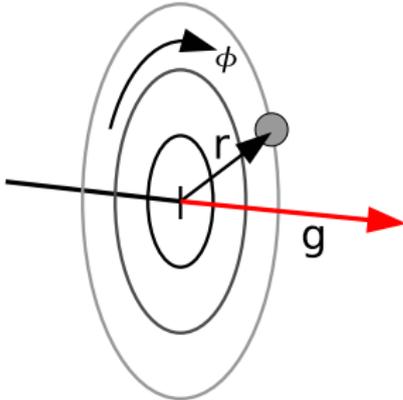
Standardimplementierung



Mit Richtungsquantisierung

Grauwertprofil-Merkmale

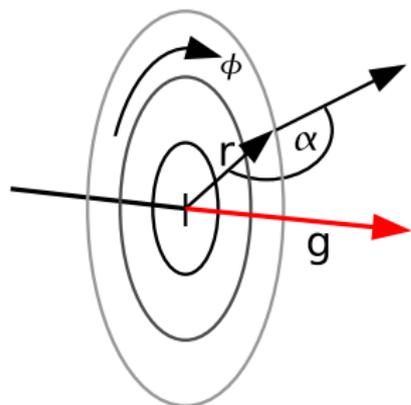
Bilde Grauwertprofil entlang des Hauptgradienten g :



- ▶ Integration über Winkel ϕ erzeugt Rotationsinvarianz
- ▶ Gewichtung der Grauwerte mit Gauss $G_\sigma(r)$ für Robustheit gegen lokale Deformationen
- ▶ Normierung mit Mittelwert und Standardabweichung für Invarianz gegenüber linearen Grauwertänderungen

Gradientenbasierte Merkmale

Gradientenrichtungs-Histogramm an Positionen entlang des Hauptgradienten g :



- ▶ Histogramm-binning über Winkel α
- ▶ eingetragen wird Gradientenlänge, gewichtet mit Gauss $G_{\sigma}(r)$
- ▶ Fuzzy-Histogramm für Robustheit gegenüber geringen Richtungsänderungen
- ▶ Normierung des Merkmalsvektors auf Länge eins: $\|FV\| = 1$

Übersicht

Motivation

Vorverarbeitung

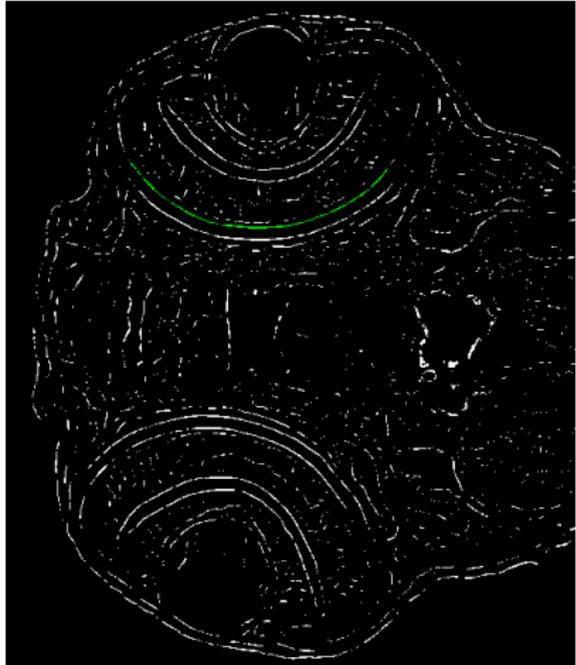
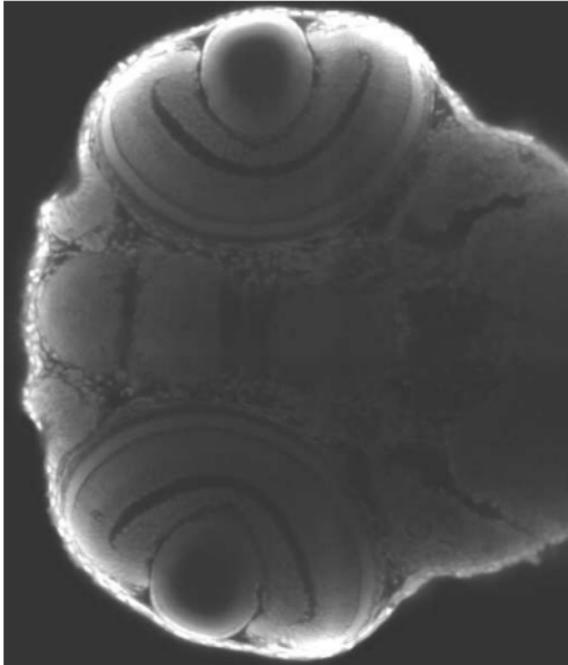
Interest Point Detektor

Merkmale

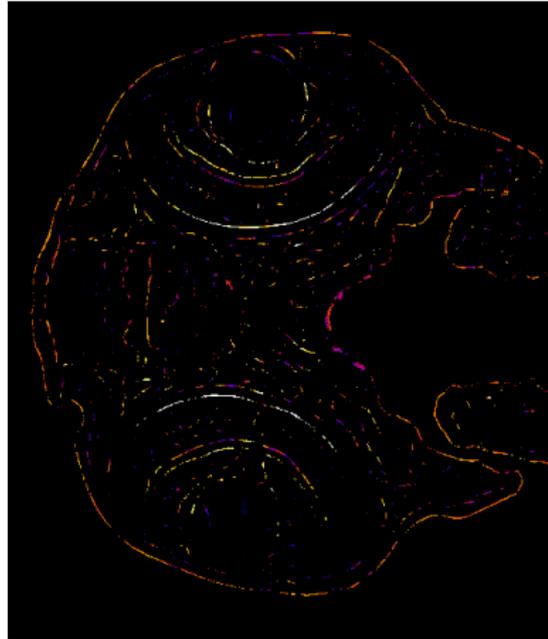
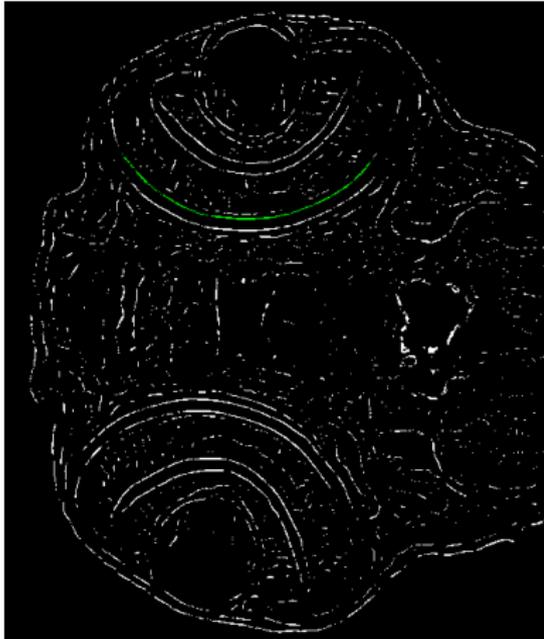
Registrierung

- ▶ Korrespondenzen
- ▶ K-Means Clustering

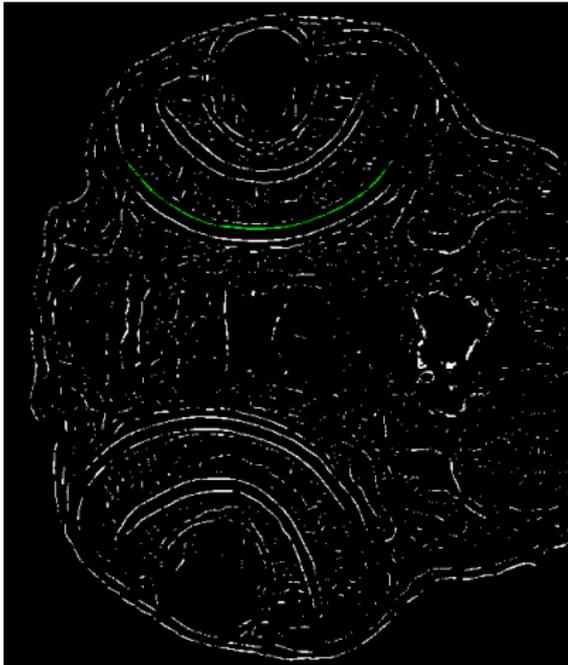
Korrespondenzen für Merkmalsvektoren.
Referenz-Datensatz e12:



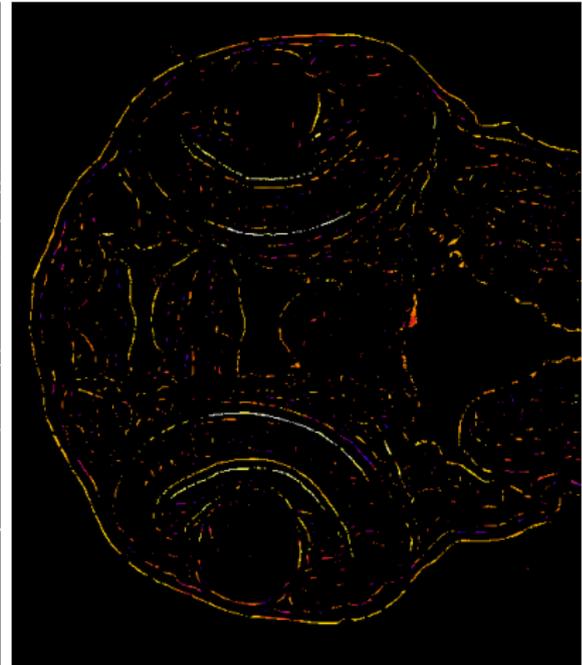
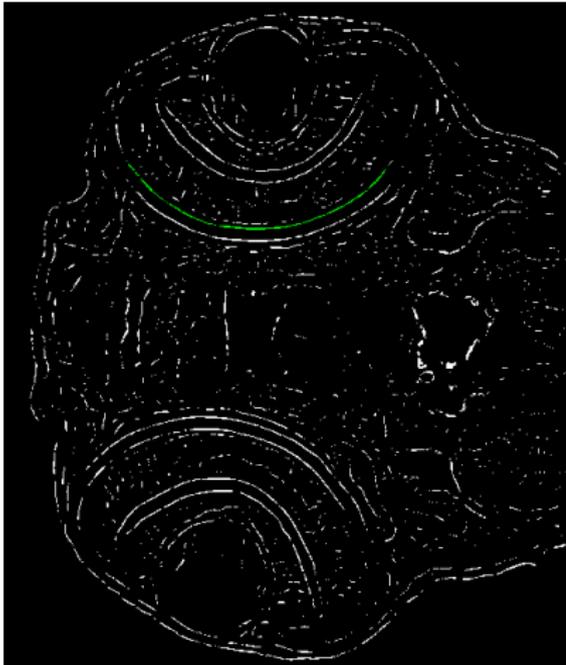
Korrespondenzen für Grauwertprofil-Merkmale. Euklidische Distanz im Merkmalsraum, aufgetragen als Farbe



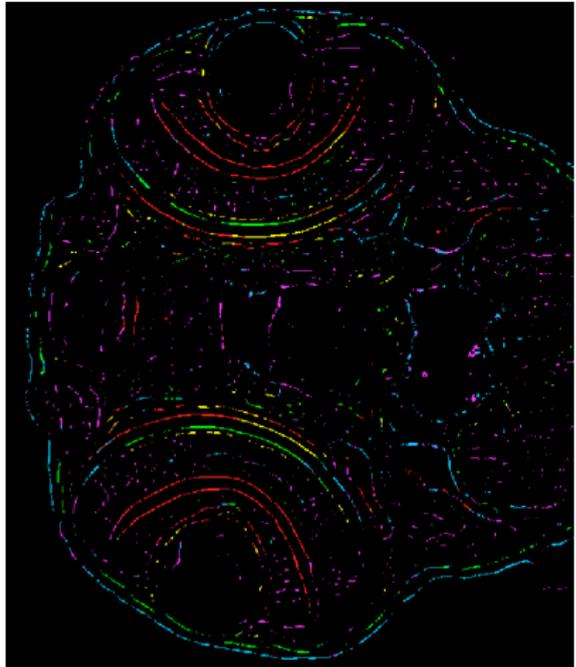
Euklidische Distanz im Merkmalsraum, aufgetragen als Farbe.
Merkmal mit relativer Position aus der Hough-Transformation.



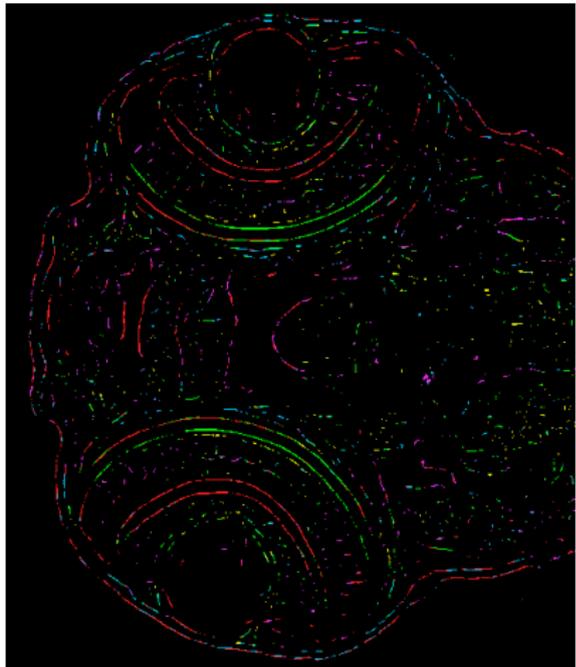
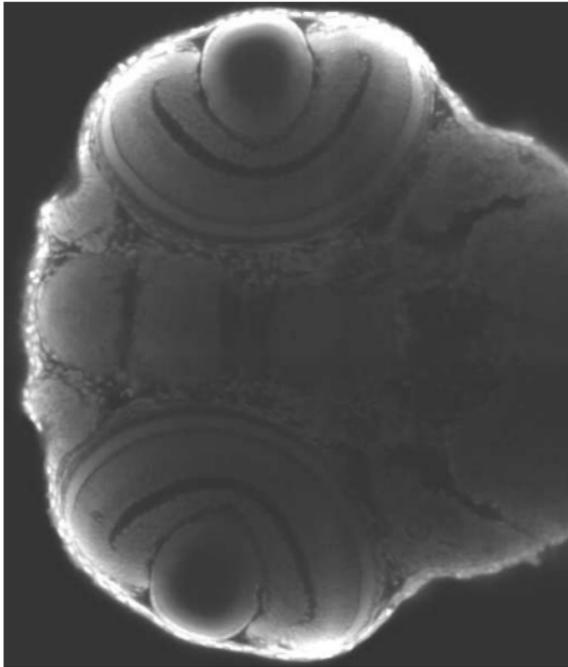
Korrespondenzen für Gradientenmerkmale. Euklidische Distanz im Merkmalsraum, aufgetragen als Farbe



K-Means-clustering der grauwertbasierten Merkmale in fünf Cluster:



K-Means-clustering der Gradientenmerkmale in fünf Cluster:



Ausblick

- ▶ Detektion weiterer Feature wie z.B. der Ohren für stabilere Merkmalsvektoren
- ▶ Automatische Segmentierung
- ▶ Erstellung eines Deformationsmodells

Ende

Danke für die Aufmerksamkeit!

