

Rundum 3-D-Bilder: Wie löst man das Puzzle?

Nikolaus Schön, Gerd Häusler

Institut für Optik, Information und Photonik,

Universität Erlangen-Nürnberg.

<mailto:nikolaus.schoen@optik.physik.uni-erlangen.de>

Immer mehr medizintechnische und industrielle Verfahren nutzen dreidimensionale Rundum-Flächen. In vielen dieser Anwendungen ist ein wichtiger Verarbeitungsschritt die gegenseitige Ausrichtung (Registrierung) verschiedener Flächendatensätze (Ansichten) eines Objektes. Die initiale grobe Ausrichtung der Daten (Grobregistrierung) muss aber bisher oft noch manuell durchgeführt werden, was den praktischen Einsatz entsprechender Systeme deutlich einschränkt. Die vorliegende Arbeit beschreibt einen Ansatz zur Automatisierung dieses Prozesses.

1 Problemstellung

Hauptgründe dafür, dass noch keine robusten und gleichzeitig schnellen automatischen Verfahren zur Grobregistrierung existieren, sind folgende:

- Um Robustheit gegenüber Verdeckungen bzw. unvollständigen Überlappungen der Datensätze zu erreichen, verwendet man am besten Verfahren, die die Registrierung durch die paarweise Zuordnung von auffälligen Punkten (Merkmalspunkten) durchführen. Die charakteristische Information (die Merkmale) der Punkte sollte dabei effizient zu berechnen sein und gleichzeitig die Punkte möglichst gut voneinander unterscheiden. Solche Merkmale sind auf Freiformflächen, die i. A. keine Ecken, Kanten usw. enthalten, schwierig zu definieren.
- Die erforderliche Geschwindigkeit der Registrierung ist nur mit hierarchisch arbeitenden Verfahren zu erreichen. Es soll vermieden werden, alle Punkte des Datensatzes analysieren zu müssen, um übereinstimmende Merkmale in verschiedenen Datensätzen zu finden. Bisherige Verfahren bieten keine Möglichkeit, die Merkmale durch hierarchische Algorithmen eindeutig zu identifizieren.

Die nachstehend erläuterten Methoden sind geeignet, diese Probleme zu lösen.

2 Methoden

Das Grobregistrierungsverfahren kann nur dann effizient durchgeführt werden, wenn es gelingt, von vornherein besonders auffällige Merkmale auf dem Objekt auszumachen und die Registrierung auf diese Punkte zu beschränken. Dazu wird zunächst die umgekehrte Frage gestellt: Welche Flächenbe-

reiche sind am wenigsten auffällig, d.h. am wenigsten brauchbar für die Registrierung?

Punkte werden im vorliegenden Verfahren durch die Information in ihrer Umgebung charakterisiert. Wenn ein Punkt auf einer kugelförmigen oder ebenen Fläche liegt, unterscheidet er sich nicht von seinen Nachbarn, da diese die gleiche Umgebung und damit die gleiche Charakteristik besitzen. Es wird daher eine Merkmalsdefinition konstruiert, die dies berücksichtigt.

Die Merkmalsvektoren werden in Form von zweidimensionalen Histogrammen gebildet, mit denen die relative Häufigkeit von Paaren bestimmter Invarianten r' und κ' in der Umgebung von Punkten \mathbf{p} dargestellt wird.

Ausgangspunkt der Berechnung der Merkmale sind Datensätze, die aus den 3-D-Koordinaten von Punkten, deren Flächennormalen und Nachbarschaftsrelationen bestehen. In jedem Punkt \mathbf{p} wird ein zylindrisches Koordinatensystem definiert, dessen Ursprung in dem Punkt liegt und dessen

Symmetrieachse \mathbf{L} entlang der Punktnormale \mathbf{n} verläuft. Für jeden Nachbarpunkt \mathbf{q} auf der Fläche in der Umgebung von \mathbf{p} werden die Höhenkoordinate h und die Radiuskoordinate r bzgl. des Zylinderkoordinatensystems berechnet. Die Umgebung ist dabei durch Vorgabe eines maximalen Radius r begrenzt.

Um eine Codierung mit möglichst wenig Informationsverlust zu erzeugen, werden r und h transformiert, so dass im Mittel über alle möglichen Punktumgebungen die Häufigkeit aller auftretenden transformierten Werte r' und κ' annähernd gleich groß ist:

$$r' = r^2 \quad \text{und} \quad (1)$$

$$\kappa' = \frac{2h}{r^2 + h^2} \quad (2)$$

Durch Diskretisierung von r' und κ' erhält man die Zelle in einem zweidimensionalen Merkmals-Histogramm, die dementsprechend erhöht wird.

Die Auffälligkeit, d. h. der Informationsgehalt der Merkmale ist über die relative Entropie lokaler Krümmungen in Bezug auf lokal gaußverteilte Krümmungen definiert. Sie ist klein für Flächenbereiche mit hoher Symmetrie (z. B. sphärische oder ebene Bereiche) und groß bei Flächenbereichen mit viel Struktur und großen Schwankungen von κ' . Diese Informationswerte lassen sich für jeden Flächenpunkt berechnen. Abb. 1 und 2 zeigen zwei Objekte, bei denen dies in je zwei Einzelansichten für jeden Flächenpunkt durchgeführt wurde und der Informationsgehalt jedes Punktes als Intensitätswert wiedergegeben wurde. Je höher der Informationsgehalt, umso heller sind die Punkte dargestellt. Die lokalen Maxima des Informationsgehaltes sind die gesuchten auffälligen Punkte auf den Einzelansichten.

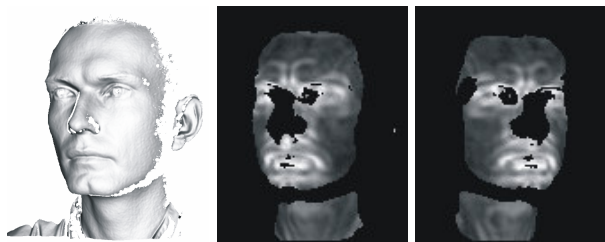


Abb. 1 Patientengesicht. Links: 3-D-Darstellung einer Einzelansicht. Mitte u. rechts: Informationsverteilung als Intensitätswerte.

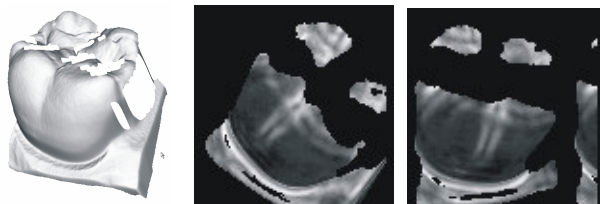


Abb. 2 Zahn. Darstellung analog Abb. 1

Die Berechnung der Informationswerte ist sehr rechenaufwändig. Sie soll daher nicht für jeden Punkt des Datensatzes durchgeführt werden. Die Selektion der lokalen Maxima wird stattdessen hierarchisch durchgeführt. Sie startet mit einem groben Netz von Startpunkten (in Abb. 2 mit „1“ markiert), in dem nun diejenigen selektiert werden, deren Informationsgehalt größer als der ihrer Nachbarn ist. In der Umgebung wird das Netz nun verfeinert (Punkte „2“ in Abb. 2), und die neuen lokalen Maxima werden selektiert. Die Suche iteriert bis zur vollen Netzauflösung. Da der Datensatz nur stellenweise bis zur vollen Auflösung verfeinert wird, reduziert sich die Anzahl der zu berechnenden Merkmale beträchtlich.

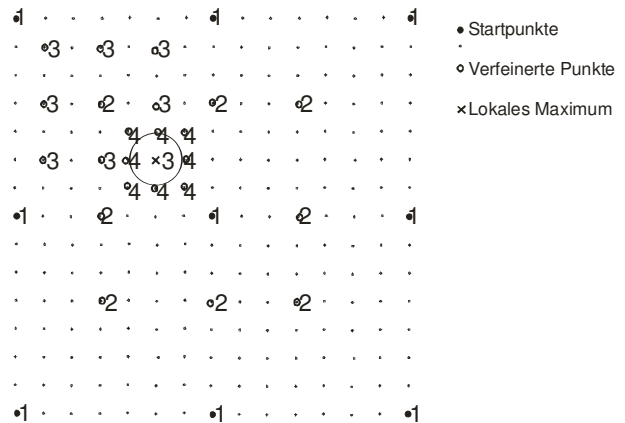


Abb. 3 Zahn. Darstellung analog Abb. 1.

Sind die Merkmale in zwei überlappenden Einzelansichten selektiert, muss bestimmt werden, welche der selektierten Punkte einander entsprechen. Das Zuordnungsverfahren vergleicht die Merkmale anhand der Transinformation der Verteilungen, die durch die 2-D-Merkmalshistogramme repräsentiert werden. Verbleibende Vieldeutigkeiten der Zuordnung werden dadurch ausgenutzt, dass die Konsistenz der geometrischen Konstellation der Merkmalspunkte gefordert wird.

Experimente zeigten, dass sich durch die vorgestellte Methode das Grobregistrierungsproblem auf durchschnittlich ca. 7 Paare von korrekt zugeordneten Merkmalen reduzieren lässt. Auf einem PC mit 2,4 GHz benötigt dieser Prozess ca. 30s Rechenzeit.

3 Diskussion

Durch die vorgestellte Definition von Merkmalen sind Punkte auf beliebigen Freiform-Flächen, insbesondere Flächen von Gesichtern, Zähnen oder anderen medizinischen Objekten, charakterisierbar. So können auch solche Flächenpunkte sehr robust unterschieden bzw. zugeordnet werden, die nicht auf Ecken oder Kanten liegen. Die Zuordnung ist in einer Zeit durchführbar, die den typischen Zeiten zur Vorbereitung und Durchführung einer 3-D-Aufnahme mit einem handgeführten Sensor entspricht. Damit kann das Problem der effizienten Grobregistrierung von Freiform-Flächen als gelöst betrachtet werden.

Danksagung

Dieses Projekt wird als Teilprojekt A1 im Rahmen des Sonderforschungsbereiches SFB 603, „Modellbasierte Analyse und Visualisierung komplexer Szenen und Sensordaten“ gefördert.

Literatur

- [1] Benz, M., Laboureux, X., Maier, T. et al., „The Symmetry of Faces“ in *Procs VMV 2002:42* -- 50, Infix (2002).