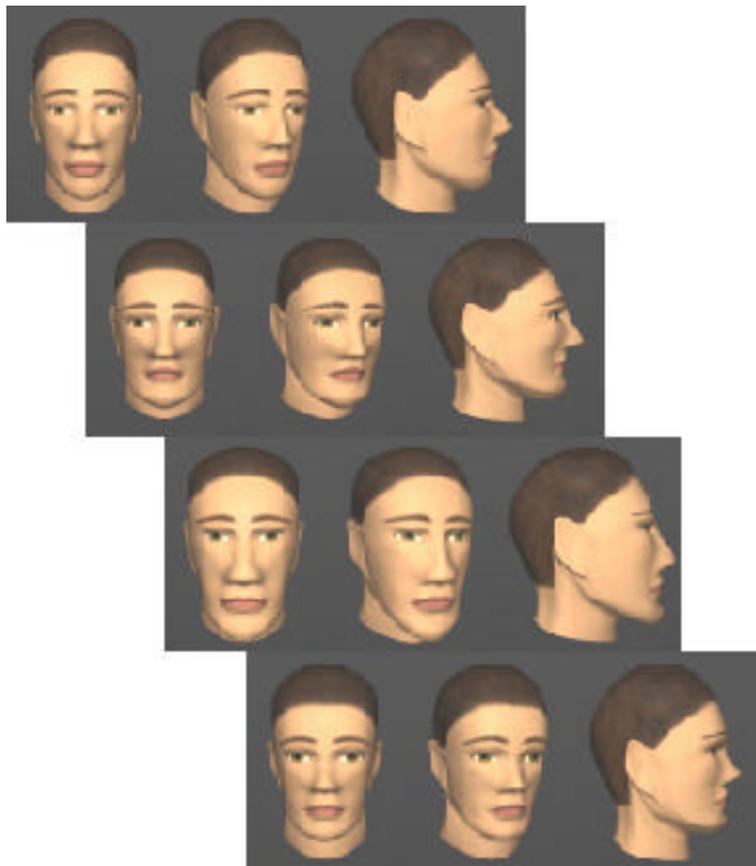


Fachseminar

über

An Anthropometric Face Model using Variational Techniques



Remo Ziegler

1. Thema

Es geht um die Modellierung verschiedener Gesichter. Man beginnt dabei mit einer Ansammlung von zufällig ausgewählten Massen über eine bestimmte Population. Diese Messungen dienen anschliessend als Constraints einer parametrisierten Oberfläche. Die Variationenrechnung weicht die Oberfläche ab und erfüllt die Randbedingungen mit Verwendung eines Prototyps als Referenz.

2. Einleitung

Um virtuelle Gesellschaften aufbauen zu können muss man die Abweichung der einzelnen Gesichter einer bestimmten Rassenorm modellieren können, so dass lauter Individuen mit eigenem Charakter entstehen.

Wir haben verschiedene Möglichkeiten Gesichter mit eigenem Charakter darzustellen :

1. Scannen der einzelnen Gesichter, dabei muss jedoch bereits ein Gesicht mit den gewünschten Eigenschaften zur Verfügung stehen, was sicherlich ein Nachteil ist. Will man ganze virtuelle Gesellschaften mit sehr vielen Gesichtern erstellen, so ist dies fast ein Ding der Unmöglichkeit.
2. Modellierung von Hand durch einen Künstler. Man geht von einem Standardmodell aus. Mit dieser Methode können zwar virtuelle Gesichter erstellt werden, jedoch geht dies sehr lange und kostet oftmals zuviel !!
3. Der neue Ansatz besteht darin, die Gesichter automatisch zu generieren. Diese Methode wird in zwei Schritte aufgeteilt :
 1. Schritt : Generieren von zufälligen Werten, welche das Gesicht charakterisieren. Die Verbindung von Messwerten und charakteristischen Gesichtern wird auf Grund von anthropometrischen Werten gebaut. Unter Anthropometrie versteht man die Wissenschaft der Masse des Körpers, in unserem Fall das Gesicht. Für bestimmte Völker gibt es also auch charakteristische Werte. Man wählt also einen Mittelwert für das Grundgesicht an dem man an Hand verschiedener Parameter das Gesicht individualisieren kann.
 2. Schritt : Hier wird das Gesicht an Hand der im ersten Schritt erzeugten Werte mit Hilfe von Variationen Modellierung erstellt.

Durch Variationen Modellierung versuchen wir die einzelnen Constraints maximal zu berücksichtigen. In unserem Fall beschreiben wir wieviel unsere Fläche durch Krümmung und Stretching von der übrigen Fläche abweicht und versuchen dies zu minimieren. Um ein wahrscheinliches Gesicht zu erhalten müssen natürlich die Constraints „fair“ gewichtet werden.

3. Background

Die herkömmlichen Formen der Modellierung, wie zum Beispiel die Scan- oder manual Modellierung-Methode stösst bei dynamischen Bildern vor allem an Ihre Grenzen. Jedes Bild müsste praktisch von Grund auf neu generiert werden.

Mit der mathematisch beschreibenden Form könnte man die folgenden Bilder automatisch generieren lassen.

Ein erster Ansatz war die einzelnen Masse als gewichtete Summe zu beschreiben. Es ist jedoch schwierig nicht lineare Zusammenhänge mit Hilfe von einem linearen Modell zu beschreiben.

Der neue Ansatz verbessert also die Methode der Gesichtsmodellierung durch basieren auf bestimmten Constraints.

4. Gesichtsanthropometrie

Anthropometrie ist die Biologische Wissenschaft über die Masse des menschlichen Körpers. Diese Daten dienen zu verschiedensten Zwecken : Zum Beispiel werden sie in der Chirurgie für Schönheitsoperationen oder Prothesenherstellung verwendet, oder auch für die Suche von vermissten Kindern, bei welchen sich das Aussehen über mehrere Jahre hinweg verändert hat.

Um eine brauchbare Statistik erzeugen zu können werden die Messungen nach einem strikt festgelegten Verfahren vorgenommen. Zuerst werden die bestimmten Messpunkte, welche gut erkennbar sind, festgelegt. Anschliessend werden diverse Abstände zwischen den verschiedenen Punkten gemessen. Wiederholte Messungen an der gleichen Person ein paar Tage auseinander haben grosse Übereinstimmung gezeigt, so dass Masse verschiedener Personen erfolgreich verglichen werden können. Im ganzen werden für das Gesicht 47 Landmark Punkte verwendet. In Bild 1 sind einige Messpunkte präsentiert :

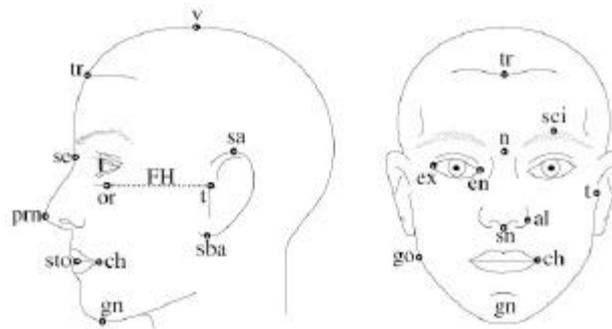


Bild 1 : Anthropometrische Messpunkte auf dem Gesicht

Bei den verschiedenen Messungen zwischen den einzelnen Punkten gibt es fünf Klassierungen (Bild 2):

1. **Kürzeste Distanz** zwischen zwei Punkten : z. B. en-ex
2. **Axiale Distanz** – Distanz, welche entlang einer Achse des „kanonischen“ Koordinatensystems gemessen wurde, während der Kopf horizontal (FH Strecke parallel zur x-Achse) liegt : z.B. v-tr
3. **Tangentiale Distanz** – Distanz entlang eines vorgeschriebenen Pfades auf der Gesichtsfläche : z.B. ch-t
4. **Neigungsgrad** – Winkel zu einer der „kanonischen“ Achsen : z. B. Winkel zwischen Ohr und der vertikalen Achse
5. **Winkel zwischen zwei definierten Orten** : z.B. Winkel am Kinn

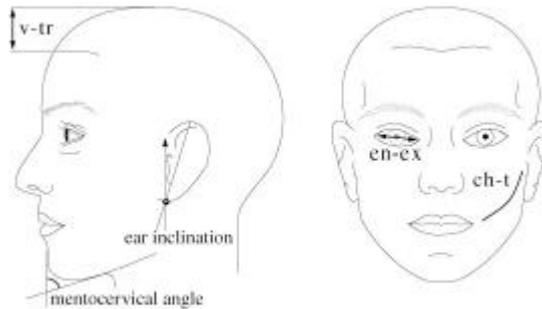


Bild 2 : Anthropometrische Messwerte

Statt diese Messungen immer von Hand vorzunehmen, kann man auch mit einem Rangescan vorgehen und anschliessend die Werte dort auslesen.

Diese Messungssätze welche pro Person angefertigt werden, können nun in verschiedene Klassen, wie Rassen, Geschlecht, Attraktivität usw., unterteilt werden.

Als wichtiger Zusatz kommen jetzt die Proportionen noch dazu, welche sehr wichtig für die natürliche Form sind.

5. Generieren der Masse

Die gemessenen Daten werden als Constraints angesehen, womit man Statistiken über Proportionen ebenfalls Rechnung tragen kann. Das Ziel dabei ist, zufällige Gesichter mit leicht veränderten Werten automatisch zu generieren. Wir werden am Schluss sehen, dass die Gesichter leider alle sehr stark dem „Ursprungsgesicht“ ähnlich sind.

5.1. Die Notwendigkeit von Proportionen

Betrachten wir die Verteilung der Messwerte, so bemerken wir, dass sie gaussverteilt sind und wir also die zufälligen Gesichter mit Hilfe des Mittelwertes und der Standardabweichung der gegebenen Daten berechnen können. Damit sind unsere Werte geometrisch konsistent.

Geometrische Konsistenz garantiert uns aber noch lange nicht ein natürliches Gesicht ! Generiert man nämlich ein Gesicht mit unabhängigen anthropologischen Messwerten, so kann es sein, dass die Proportionen des erhaltenen Gesichts völlig unnatürlich wirken.

Um also eine Korrelation zwischen den verschiedenen Werten zu erreichen, müssen wir gewisse Proportionen einführen. Setzen wir also ein Mass fest, so kann mittels der zufälligen Auswahl der erwarteten Proportionen der nächstliegende Wert berechnet werden. Werden die beiden Masse auf diese Weise konstruiert, so gibt dies dem Gesicht ein viel wahrscheinlicheres Aussehen, als wenn die beiden Masse unabhängig voneinander gefunden worden wären.

Je mehr Werte es gibt desto mehr Proportionen entstehen natürlich auch. Dabei ist jetzt wichtig die Proportion mit dem grössten Einfluss aufs Aussehen zu wählen. Wir generieren demzufolge eine Menge von Massen, welche alle durch eine Proportion mit einem anderen Mass „verbunden“ sind. Wie diese Struktur aussehen soll und wie man darauf kommt, werden wir im folgenden Teilpunkt sehen. Bei diesem Algorithmus brauchen wir lediglich eine Initialmenge, von welcher aus wir über die Proportionen alle anderen Masse berechnen können. Somit kann also ein Gesicht auch in eine bestimmte Richtung kreierte werden, indem man einfach die gewünschten Masse als Initialwerte wählt.

5.2. Algorithmus um Proportionen darzustellen

Die Grundidee besteht darin, die Masse und Proportionen als Graph darzustellen (Bild 3), wobei die Proportionen als Kanten und die Masse als Knoten dargestellt werden. Dieser Graph darf keine Zyklen enthalten, die Kanten müssen gerichtet sein und zu jedem Knoten muss mindestens eine Kante existieren. Aus einem allgemeinen Graph entsteht also ein gerichteter Baum.

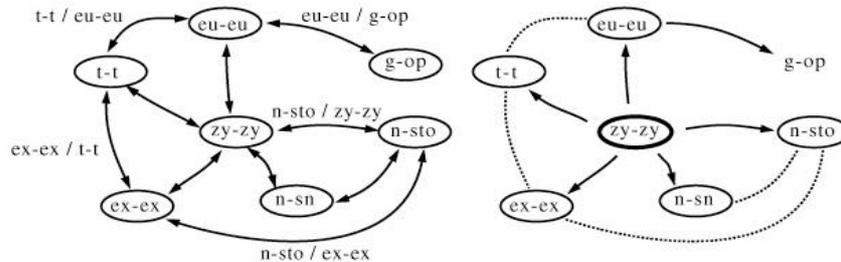


Bild 3 : Messwerte und Proportionen als Graph darstellen

Eine Kante e von Knoten s nach Knoten d in diesem Baum bedeutet, dass der Mittelwert und die Standardabweichung von d durch diejenigen von s und e berechnet werden.

Im Graph wird also jeder Knoten und jede Kante mit einem Mittelwert und einer Varianz versehen. Je kleiner das Verhältnis von Standardabweichung zum Mittelwert desto eingeschränkter wird der Messpunkt. Wir wählen dieses Verhältnis als Gewicht. Bei grossen Mittelwerten soll eine relativ kleine Standardabweichung einen kleineren Einfluss haben, als die gleiche Standardabweichung bei kleineren Mittelwerten. Es würde hier keinen Sinn machen nur mit der Standardabweichung zu gewichten.

Hat man also die Standardabweichung und die Varianz vom Knoten d und der Kante e , so kann man die Werte für den Knoten s folgendermassen berechnen :

$$m_d = m_s m_e$$

$$s_d^2 = m_s^2 s_e^2 + m_e^2 s_s^2 + s_e^2 s_s^2$$

Hierbei ist wichtig, dass das Gewicht von d immer grösser als das Gewicht von s ist. Das heisst also je weiter wir im Baum in die Tiefe gehen, desto Ungenauer wird die Information der Messwerte, was intuitiv auch einleuchtet.

Unser Ziel ist nun ein Baum zu erstellen, bei welchem die Summe aller Gewichte der Knoten minimal ist. Dies bedeutet, dass wir die Genauigkeit auch besser einhalten können. Wie kommen wir nun zu einem solchen Baum ?

Ein Ansatz um einen solchen MST zu erstellen ist der Prim's Algorithmus :

1. Der Ausgangsbaum besteht aus den Initialmesswerten welche frei gewählt werden können.
2. Wähle nun eine Kante minimalen Gewichtes, für die genau ein Endknoten zum gewählten Baum gehört, nimm den zusätzlichen Knoten in den Baum auf und richte die Kante zum neuen Knoten. Alle anderen Kanten, die von diesem neu aufgenommenen Knoten zum bereits bestehenden Baum führen, werden aus dem Graph gestrichen. Das heisst man hebt in jedem Schritt die aufgenommenen Zyklen direkt auf.

Zu Beginn besteht der gewählte Baum aus Initialmesswerten und „dummy-Kanten“ welche die Baumstruktur nicht verletzen; später bilden alle gewählten Kanten und deren inzidente Knoten den gewählten Baum.

Wir haben damit also einen Zusammenhang zwischen den Messwerten gefunden welcher in einem Baum minimalen Gewichtes dargestellt wird. Was bedeutet dies nun auf unsere Gesichter übertragen ? Wir erhalten damit Gesichter, welche minimal von den gegebenen Proportionen abweichen und somit auch ein möglichst natürliches Aussehen haben.

6. Variational Modeling

Durch unsere Darstellung der Messwerte können wir die Geometrie eines Gesichtes mittlerweile gut darstellen, jedoch ist die Darstellung der Oberfläche immer noch nicht eindeutig. Zum Beispiel sagen die bestimmten Messwerte nichts über die Krümmung der Oberfläche aus. Beim Kinn haben wir zwar einen Winkel, welcher aber noch nichts über die Krümmung aussagt. Wir wollen also ein Gesicht kreieren, welches einerseits die Eigenschaften der Haut aber auch die Messwerte berücksichtigt. Die anthropometrischen Werte werden als constraints verwendet, wobei der Rest der Oberfläche durch optimieren der Oberflächenfunktionen berechnet wird. Diese charakteristischen Eigenschaften sollen nun durch variational modeling unter einen Hut gebracht werden.

Damit wir während Bewegungen nicht das ganze Modell neu berechnen müssen, versuchen wir möglichst viele Komponenten zu beschreiben, welche mehr oder weniger konstant bleiben.

Wir beginnen die Modellierung mit einer parametrischen Oberfläche $s(u,v)$, in unserem Fall einer B-Spline Funktion, auf welcher unsere Messpunkte festgelegt sind. Die Freiheitsgrade dieses Gitters werden in einem Vektor \mathbf{p} festgehalten. Dabei bildet \mathbf{p}' die Prototypform. Sowohl $s(u,v)$ als auch \mathbf{p}' müssen von Hand modelliert werden, jedoch wird dieselbe Parametrisierung als Prototyp aller Messwerte verwendet.

Unsere Messwerte \mathbf{m} sollten nun auch als Freiheitsgrade im Vektor \mathbf{p} einen Einfluss auf die Oberfläche haben. Wir können dies in zwei Schritten erreichen :

1. Die Messwerte \mathbf{m} werden als constraints im Vektor \mathbf{p} ausgedrückt
2. Durch Verwendung von variational Techniken soll eine Oberfläche gefunden werden, welche unseren constraints so gut als möglich entspricht und welche die Krümmungs- und Stretchingsdifferenzen zum Prototyp minimieren.

6.1. Oberflächendarstellung

Wir verwenden zu unserer Oberflächendarstellung (Bild 4), wie bereits oben erwähnt, eine B-Spline Funktion, da diese Art der Darstellung folgende Vorteile bringt :

1. „weiche“ Oberfläche durch C^{n-1} -Stetigkeit (n ist der Grad der B-Spline-Funktion)
2. constraints müssen evaluiert werden können
3. Oberflächenpunkte mit zugehöriger Tangente können als Linearkombination des Kontrollmeshes berechnet werden

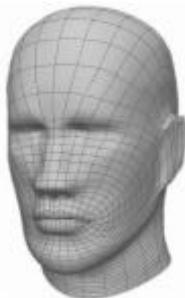


Bild 4 : Prototyp Gesicht

Unser Gitter kann man sich als „dehnbaren Zylinder“ vorstellen, das über den Kopf gestülpt wird. Dabei bilden Hals und Mund die beiden Öffnungen. Die verschiedenen anthropometrischen Messpunkte werden durch die Parameter (u,v) beschrieben. Nicht nur Punkte werden so ausgerichtet, sondern auch Tangenten. Zum Beispiel die Tangente an den Punkt v (Bild 1). Der Kopf wird durch horizontale die Ausrichtung dieser Tangente in eine aufrechte Position gebracht. All diese Messungen bilden eine Menge von baseconstraints.

6.2. Oberflächen constraints

Wir haben bei unseren Messungen lineare und nicht lineare constraints.

Die linearen constraints stammen von den axialen Distanzen der anthropometrischen Messungen und den baseconstraints. Beide können als eine lineare Funktion der Freiheitsgrade \mathbf{p} dargestellt werden.

$$\mathbf{A}\mathbf{p} = \mathbf{b}$$

Die Matrix A beschreibt wie die Werte aller linearen constraints berechnet werden, während der Vektor b die beabsichtigten Werte für diese Messungen enthält.

Viele constraints sind jedoch nicht linear. Jeder nicht-lineare constraint ist mit einer Funktion verbunden, welche die Abweichung der korrekten Messwerte misst. All diese Funktionen werden aufsummiert zu einer Penalty-Funktion P für welche gilt :

$$P(\mathbf{p}) = 0$$

Zu dieser Penalty-Funktion gehören die folgenden constraints :

1. **Kürzeste Distanz :**
z.B. en-ex (Bild 2)

$$P_{dist}(x_i, x_j) = (\|x_i - x_j\| - r)^2$$

2. **Tangentiale Distanz :**
z.B. ch-t (Bild 2)

$$P_{arc-len}(x_1, \dots, x_n) = \left(\sum_{i=1}^{n-1} \|x_i - x_{i+1}\| - r \right)^2$$

3. **Neigungsmessungen :**
z.B. ear inclination (Bild 2)

$$P_{incl}(v) = (\hat{v} - Rot(a, \mathbf{q}))^2$$

4. **Winkelmessungen :**

Die Winkelmessungen zwischen zwei Vektoren \mathbf{v}_1 und \mathbf{v}_2 werden in jeweils zwei unabhängige Neigungsmessungen aufgeteilt.

z.B. mentocervical angle (Bild 2)

$$P_{angle1}(v_1) = (\hat{v}_1 - Rot(\hat{v}_2, \mathbf{q}))^2$$

$$P_{angle2}(v_2) = (\hat{v}_2 - Rot(\hat{v}_1, \mathbf{q}))^2$$

6.3. Fairing

Eine faire Oberfläche kann schlussendlich durch Minimierung von $E(s)$ erfolgen. Diese Funktion besteht aus einem Biegungs- und einem Membranterm, welcher die Eigenschaften der Dehnung beinhaltet.

Biegungsterm :
$$E_p(s) = \int (s_{uu} * s_{uu} + 2s_{uv} * s_{uv} + s_{vv} * s_{vv}) dudv$$

Membranterm :
$$E_m(s) = \int (s_u * s_u + 2s_u * s_v + s_v * s_v) dudv$$

(Dehnungsterm)

Die Werte werden jeweils quadriert, um den Energieterm zu erhalten. $E_p(s)$ und $E_m(s)$ werden mit α bzw. β gewichtet und in die Minimierungsfunktion $E(s)$ einbezogen.

$$E(s) = \alpha E_m(s) + \beta E_p(s)$$

Eine lineare Oberflächenrepräsentation kann als eine quadratische Form evaluiert werden :

$$\frac{1}{2} p^T H p$$

Dabei ist H eine Matrix welche schwach besetzt ist. Diese Funktion kann jedoch auch relativ zum Prototyp p' dargestellt werden. Man optimiert die Differenz zum Prototyp, womit man zum Beispiel starke Krümmungen an der Nase oder am Ohr speziell berücksichtigen kann, welche sonst bei der Optimierung ohne Prototyp, abgeflacht würden.

$$\frac{1}{2} (p - p')^T H (p - p')$$

Sind uns also lediglich lineare constraints gegeben, so können wir unser Problem auf eine quadratische Optimierung mit linearen constraints reduzieren.

$$\min_p \left\| \frac{1}{2} (p - p')^T H (p - p') \right\| \quad \text{Abhängig von } A p = b$$

6.4. Fairing mit linearen constraints

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten dieses constraint Minimierungsproblem zu lösen. Jeder dieser Ansätze transformiert das Problem in ein unconstrained Problem.

Mit dem Lagrange multiplier y erhalten wir folgende Minimierungsaufgabe :

$$\min_{p,y} \left\| \frac{1}{2} (p - p')^T H (p - p') + (A p - b)^T y \right\|$$

Durch die Differenzierung der Minimierungsaufgabe erhalten wir ein lineares System :

$$\begin{vmatrix} H & A^T \\ A & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} p \\ y \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} H p' \\ b \end{vmatrix}$$

Uns bleibt also noch dieses Gleichungssystem aufzulösen. Dafür können wir eine LU-Zerlegung verwenden, welche zur Zerlegung $O(n^2)$ Zeit benötigt. Wegen der schwach besetzten Matrix H , ist der Rechenaufwand jedoch grob $O(n)$.

6.5. Nicht lineare constraints

Wie bereits unter 6.2 erwähnt repräsentieren wir unsere nicht linearen constraints durch $P(\mathbf{p})$. Da diese Funktion positiv ist, wird sie bei der Minimierung miteinbezogen. Wir erhalten also die folgende Gleichung :

$$\begin{vmatrix} H & A^T \\ A & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} p \\ y \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Hp' - \frac{\partial P(p)}{\partial p} \\ b \end{vmatrix}$$

Die partielle Ableitung nach \mathbf{p} , einbezogen in die Gleichung, führt zu der Nullstelle von $P(\mathbf{p})$. Da P nicht linear ist, muss dieses Gleichungssystem iterativ gelöst werden. Dies führt uns zu folgender iterativen Lösung :

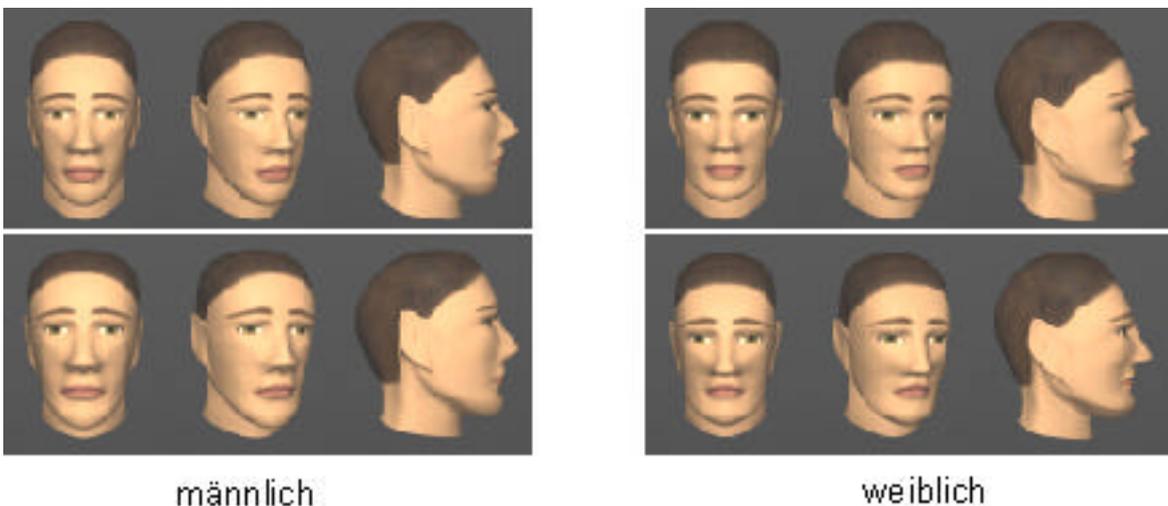
$$\begin{aligned} C_0 &= 0 \\ C_i &= C_{i-1} - \mu_i \frac{\partial P(p_{i-1})}{\partial p} \end{aligned} \quad \begin{vmatrix} H & A^T \\ A & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} p_i \\ y \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Hp' - C_i \\ b \end{vmatrix}$$

Wir verwenden hier wieder den LU-Zerlegungsansatz mit \mathbf{p}_0 als Lösung der linearen constraints Gleichung. Der Parameter μ_i ist ein skalares positives Gewicht, analog zu einem Time-step, welcher einer adaptiven Methode dient. Erhält man nicht die gewünschte Nullstelle, so kann man zum Beispiel einen kleineren μ_i wählen. Der Versuch einige der nicht linearen mit linearen constraints zu approximieren, hatte nur kleine Vorteile der Effizienz, dafür Einbussen in der Stabilität.

In der Praxis führt eine Verwendung aller constraints zu Konflikten. Eine nicht inverse Matrix der linearen constraints oder eine nicht konvergierende Iteration der nicht linearen constraints kann die Folge sein. Es werden nur die constraints mit den lokal am meisten eingeschränkten Definitionen gewählt, so dass möglichst keine Konflikte entstehen.

7. Resultate und Diskussion

Beispiel Gesichter, welche mit Hilfe dieser Methode erstellt wurden, sieht man auf den folgenden Bildern :



Zur Erstellung dieser Gesichter wurden 15 Basisconstraints, 65 Masse und 120 Proportionen verwendet. Um die LU-Zerlegung dieser Bilder durchzuführen, wurden 3 Minuten auf einer SGI 175 MHz R1000 benötigt. Nach 50 Iterationen erreichten die Gesichter ihre grobe Form. Die Bilder wurden anschliessend nach 200 Iterationen, was ca. 1 Minute pro Kopf bedeutet, erstellt.

Verschiedene Charakteristiken können zwischen Mann und Frau unterschieden werden :

1. Neigung der Augen
2. Winkel am Kinn
3. Höhe des unteren Teil des Gesichtes

Die Mittelwerte variieren ca. um 1% innerhalb der gleichen Bevölkerungsgruppe und bedeutend mehr bei verschiedenen Bevölkerungsgruppen. Die Gesichter sind dem Prototyp alle sehr ähnlich, jedoch nimmt dieser Effekt mit zusätzlichen Messwerten ab. Bei allen Modellen wurde immer das gleiche Texturemapping verwendet, was natürlich ebenfalls zu einem uniformen Aussehen führt.

8. Schlussfolgerung

Dieses Paper hat eine Möglichkeit aufgezeigt, ein Gesicht in zwei Schritten zu modellieren. Im ersten Schritt wird eine Menge von plausiblen constraints produziert und im zweiten Schritt wird eine Oberfläche, welche die constraints mit Hilfe von Variational Modeling einbezieht, berechnet.

Natürlich muss dieses Modell noch besser präsentiert und auch erweitert werden. Eine mögliche Erweiterung wäre die simultane Berechnung der Oberfläche und des Schädels. Dies würde dann eine Basis zur Animation der Gesichter legen. Die Messpunkte könnten natürlich auch auf die Texture übertragen werden, so dass sie sich bei Animationen dynamisch anpassen würden.

Referenzen

Autoren : Douglas DeCarlo, Dimitris Metaxas und Matthew Stone
Titel : An Anthropometric Face Model using Variational Techniques
Erschienen : Proceedings SIGGRAPH '98

Autoren : W.Welch and A.Witkin
Titel : Variational surface modeling
Erschienen : Proceedings SIGGRAPH '92

Autoren : T.Ottmann und P.Widmayer
Titel : Algorithmen und Datenstrukturen
Erschienen : Reihe Informatik, Band 70
Verlag : BI Wissenschaftsverlag