

〔非公開〕

TR-C-0123

3次元計測データの重要度に応じた表情再現方法の一検討

鈴木 紀子
Noriko SUZUKI

大谷 淳
Jun OHYA

岸野 文郎
Fumio KISHINO

1 9 9 5 . 8 . 9

A T R 通信システム研究所

目次

1	まえがき	3
2	臨場感通信会議の概念と表情再現	4
3	実時間表情再現方法	5
3.1	各種表情表出時の顔の3次元計測	5
3.2	表情再現アルゴリズム	6
4	マーカの配置と表情再現品質の関係	9
4.1	方針	9
4.2	重要度の定義	10
4.3	各重要度の特性	11
4.4	マーカ数と再現品質	11
5	むすび	18
A	顔画像表情再現までの一連のながれ	20
B	表情再現アルゴリズムにおけるパッチの仕様	21

図目次

1	処理のながれ	4
2	3D Scanner	5
3	(a) 3次元計測データの一例 (左)、(b) 基本3D WFM (右)、(c) 拡張3D WFM	5
4	顔の代表的な表情筋	6
5	3次元計測を行った表情: (0) 無表情 (上段左)、(A) 表情A (上段中央)、(B) 表情B (上段右)、(C) 表情C (中段左)、(D) 表情D (中段中央)、(E) 表情E (中段右)、(F) 表情F (下段左)、(G) 表情G (下段中央)、(H) 表情H (下段右)	7
6	顔の領域分割	8
7	(a) 3次元計測データを用いたマーカの2次元ベクトルの表現例 (左)、(b) ドット以外の3D WFMの頂点の移動規則例 (中央)、(c) 特別領域の3D WFMの頂点の移動規則例 (右)	10
8	2次元ベクトルの方向の一例	11
9	平均自乗誤差: (a) 全領域平均 (上段左)、(b) 額 (上段右)、(c) 目 (中段左)、(d) 鼻 (中段中央)、(e) 頬 (中段右)、(f) 上唇 (下段左)、(g) 唇横 (下段中央)、(h) 顎 (下段右)	12
10	I_1 : (a) CCDカメラで撮影した画像 (上段左)、(b) 原画像 (上段右) (c) 0% (中段左)、(d) 25% (中段中央)、(e) 50% (中段右)、(f) 75% (下段左)、(g) 90% (下段中央)、(h) 98% (下段右) の場合の再現画像	13
11	I_2 : (a) CCDカメラで撮影した画像 (上段左)、(b) 原画像 (上段右) (c) 0% (中段左)、(d) 25% (中段中央)、(e) 50% (中段右)、(f) 75% (下段左)、(g) 90% (下段中央)、(h) 98% (下段右) の場合の再現画像	14
12	I_3 : (a) CCDカメラで撮影した画像 (上段左)、(b) 原画像 (上段右) (c) 0% (中段左)、(d) 25% (中段中央)、(e) 50% (中段右)、(f) 75% (下段左)、(g) 90% (下段中央)、(h) 98% (下段右) の場合の再現画像	15
13	I_4 : (a) CCDカメラで撮影した画像 (上段左)、(b) 原画像 (上段右) (c) 0% (中段左)、(d) 25% (中段中央)、(e) 50% (中段右)、(f) 75% (下段左)、(g) 90% (下段中央)、(h) 98% (下段右) の場合の再現画像	16
14	I_5 : (a) CCDカメラで撮影した画像 (上段左)、(b) 原画像 (上段右) (c) 0% (中段左)、(d) 25% (中段中央)、(e) 50% (中段右)、(f) 75% (下段左)、(g) 90% (下段中央)、(h) 98% (下段右) の場合の再現画像	17
15	ノイズとみなして削除する場合	21
16	選択基準ベクトルの変更その1	21
17	選択基準ベクトルの変更その2	21
18	前値ホールドの場合	22
19	選択基準ベクトルの変更その3	22
20	選択基準ベクトルの変更その4	22

表目次

1	表情筋の動作と構造の関係の例	8
---	--------------------------	---

1 まえがき

筆者らは、遠隔地にいる人々があたかも一堂に会するかのような視覚的効果の実現および協調作業が可能な場の提供を目的とした通信を臨場感通信会議とよび、システムの実現に向けて要素技術の検討を進めている [1]-[4]。臨場感通信会議では、3次元CG技術で仮想的に生成された共有空間に、会議参加者の3次元人物像を配置し、立体ディスプレイに表示する。ここで、会議参加者については、送信側で表情や動きを検出し、受信側の3次元人物モデルにおいて再現する。本稿では、3次元人物モデルの顔における実時間表情再現法について述べる。

筆者らは既に、会議参加者の顔にマーカを貼付し、参加者が会議中に被るヘルメットに取り付けた小型CCDカメラを用いて顔画像でこれをとらえて追跡することによって表情を検出し、あらかじめ定義されたモーションルールに従い実時間で表情再現を行えるシステムを構築している [1]-[3]。この方式では、表情の再現を行う際に、人間の主観に基づいて作成されたモーションルールを用いて3次元顔モデル(3D Wire Frame Model: WFM)の各頂点を駆動していたために筋肉の動きを忠実に再現できない、作成されたモーションルールに記述されていない表情が入力された際に当てはまるルールが見当たらないなど、表情再現の忠実性に問題があった。

本稿では、顔画像中のマーカ追跡結果を用いた、より忠実度の高い表情再現のために、種々の表情表出時における顔表面の3次元計測に基づいた表情再現方法を提案する [4]。本手法では、あらかじめ顔料を用いて顔に直接ドットを描き、顔に存在する表情筋の動作を考慮に入れた種々の表情表出時における各ドットの、無表情状態における位置からの3次元移動ベクトルを測定する。このようにして得られた各ドットの3次元移動ベクトルを、顔画像平面に基準ベクトルとして投影しておく。表情再現時にはまず、顔画像中で検出されたマーカの移動ベクトルをはさむ2つの基準ベクトルを見出し、マーカの移動ベクトルをこれらのベクトル和で表現する。各マーカのベクトル和の表現に基づき、WFMの頂点を適宜移動することにより表情再現を行う。

次に、各種表情表出時における顔表面上の各ドットの位置と前述の無表情時のデータを用いて、各ドットの無表情の位置からの移動量を求めて移動ベクトルとする。これを、2次元である顔画像平面に投影して基準ベクトルとする。同様に、CCDカメラで撮影した顔画像を用いて2次元計測を行い基準ベクトルを作成する。表情再現時には、顔画像から検出されるマーカの動きを用いて作成される移動ベクトルを前述の3次元計測の基準ベクトルの和で表現し、表情再現アルゴリズムに基づいてWFMの各頂点の3次元移動ベクトルを求めることで実現する。

また、本稿における手法は顔画像中におけるマーカの追跡により表情の検出を実現しているため、マーカの数が多し程、表情再現の忠実度が向上する。一方でマーカ検出系の計算負荷増大や、CCDカメラのビデオ信号を用いて顔画像の撮影を行っているため、画像の解像度の限界から追跡処理を誤るなどの問題が生じる。そこで、前述の顔のドットの位置にマーカを貼付することを前提とし、マーカの位置決定において重要度を導入する。その結果を、平均二乗誤差を用いて移動ベクトルの推定精度を評価し、マーカの最適な数と配置に対する提案手法の有効性を実証する。

第2章では、臨場感通信会議の概念と表情再現の原理について説明する。第3章では、本稿で提案する実時間表情再現法における顔画像入力から表情再現画像の出力までの処理の詳細について述べる。第4章では、マーカの最適な数と配置の実験による検討を行う。第5章では、まずドットの位置をマーカの候補位置とし、ドットの重要度を表現する尺度を定義する。さらに、この重要度にしたがいマーカを削減していった場合の再現画像を示す。

2 臨場感通信会議の概念と表情再現

臨場感通信会議の目的は、1で述べたように、異なる場所にいる会議参加者があたかも一つの場所を共有しているような感覚を持ちつつ、協調作業等の打ち合わせや会議を可能にする環境を提供することにある。本稿で扱う人物の表情再現については、各会議参加者の表情を送信側で検出し、受信側の3次元顔モデルで実時間再現する必要がある。表情再現のための処理は、図1に示すように、以下に述べる3つのモジュールから構成される。

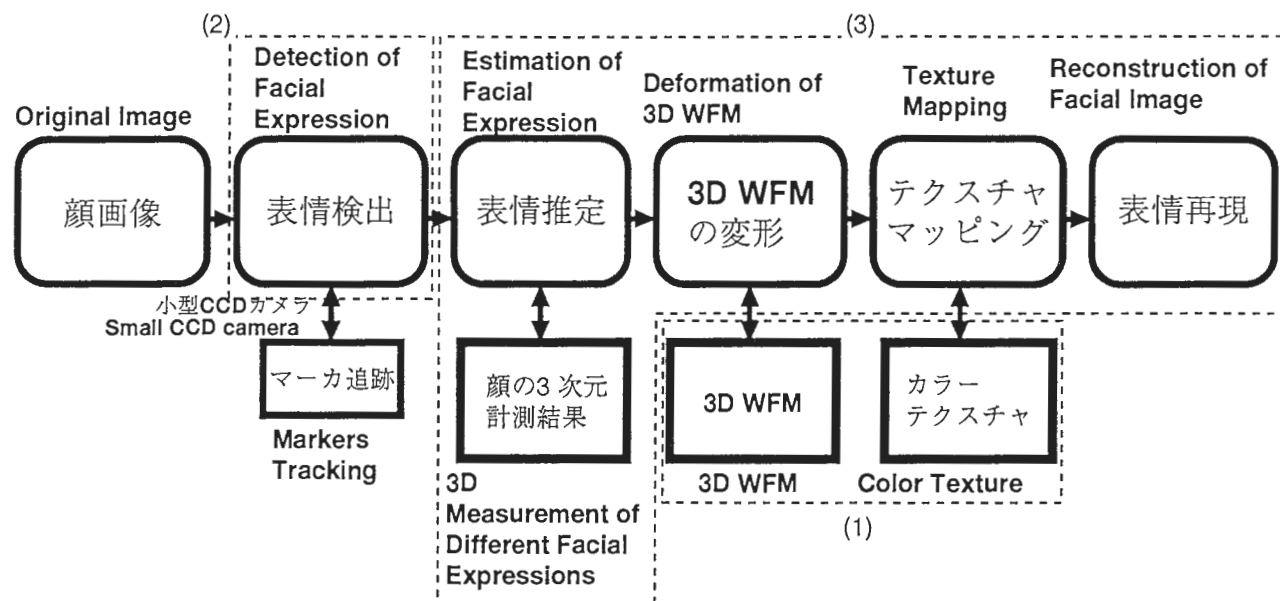


図 1: 処理のながれ

(1) 顔の3次元モデリング

人物顔画像の3次元モデリングは、3D スキャナ (Cyberware 社製 color 3D Digitizer) を用いて行われる (図2)。3D スキャナを用いると、計測対象の周囲を回転しながら Laser Stripe を照射し、各視線方向の距離情報と計測対象の色彩情報であるカラーテクスチャ情報も併せて入力することが可能である。3D スキャナから入力される距離情報は円筒座標系で表現されているが、これを3Dモデルの構築が可能のように三角パッチの集合体である3D WFMに変換し、三角パッチの頂点を移動させることにより、3D WFMの変形が実現されている。カラーテクスチャ情報は、対応する場所の三角パッチに貼り付けられ、三角パッチの変形に応じて間引きや補間が行われる [3]。

(2) 実時間表情検出

表情検出部では、顔画像中でマーカの追跡のために、あらかじめ顔に表情検出用のマーカを貼付した人物の顔をその人物が被るヘルメットに固定した CCD カメラを用いて撮影している。これは、顔の向きにかかわらず、常に顔に対して一定の画角で画像を撮影し、処理の負担を軽減するためである。

(3) 実時間表情再現

表情再現部では、(2)におけるマーカの追跡結果を利用して、適宜 WFM を変形し、これにテクスチャをマッピングして、表情を再現する。



図 2: 3D Scanner

1で述べたように、筆者らの従来法では、(2)においてマーカの追跡結果を、あらかじめ定められたモーションルールにしたがって、WFMの変形を行っていたが、モーションルールに定められていない入力に対する再現の忠実性などに問題があった。

3 実時間表情再現方法

本稿では、2.(2)で述べた表情再現において、各種表情表出時における顔の3次元計測結果を利用し、WFMの各頂点の移動ベクトルを求める新たな手法を提案する。以下、3.1で各種表情の3次元計測、3.2で表情再現アルゴリズムについて述べる。

3.1 各種表情表出時の顔の3次元計測

図3(a)に示すような実際の人間の顔半面の3D WFMの頂点に対応する位置に直接ドットを描き、3D スキャナを用いて種々の表情を表出した場合の3次元計測を行う。

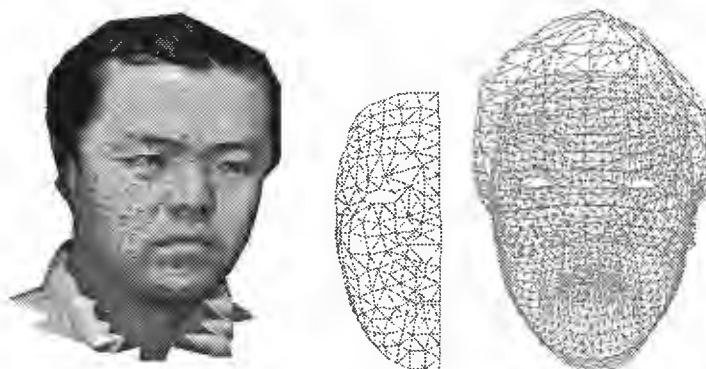


図 3: (a) 3次元計測データの一例(左)、(b) 基本3D WFM(右)、(c) 拡張3D WFM

3.2で述べる表情再現アルゴリズムでは、各種表情表出時の各ドットの、無表情時における位置からの3次元移動ベクトル(3D スキャナによる計測系の3次元座標の原点からの)を用いる。例えば、ドット h の表情 $j(j = 1, 2, \dots, N; N$ は表情の種類の数)および無表情における3次元

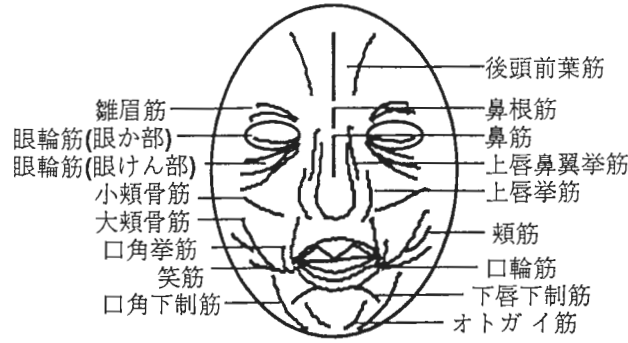


図 4: 顔の代表的な表情筋

位置ベクトルを各々 \vec{D}_{hj} 、 \vec{F}_h とすると、無表情時からの 3 次元移動ベクトルは、 $\vec{M}_{hj} = \vec{F}_h - \vec{D}_{hj}$ で計算される。また、 \vec{M}_{hj} を顔画像平面に投影した 2 次元移動ベクトル \vec{m}_{hj} を基準ベクトルとして求めておく。

表出する表情は、人間の顔表面の代表的な表情筋の構造 (図 4) と動作の相関に基づき [5]、すべての動作を網羅するように決定するのが望ましい。本稿では、このような観点から、基準ベクトル作成のために表 1 のような A から H までの 8 種類 (図 5)、中間的表情として「あ / い / う / え / お」の母音発音時の 5 種類、合計 13 種類の表情を計測した。表 1 に示すように、A から H までの 8 種類の表情は図 4 に示される代表的な表情筋の動作をほぼ網羅している。

本稿では、3 次元計測結果を表情再現に直接的に反映するために、人間の顔半面に直接描いたドット 155 点を頂点とした基本の 3D WFM を作成した (図 3(b))。受信側に 3 次元顔画像を表示する際には、この頂点が左右対称であると仮定する。さらに、3 次元計測をあらかじめ行った頂点以外の 3D WFM (図 3(c)、1,300 頂点) の頂点の 3 次元移動ベクトルは、3.2 に述べるような方法でマーカの追跡結果により得られた 3 次元移動ベクトル情報を伝搬していくことにより求められる。

3.2 表情再現アルゴリズム

より忠実度の高い表情再現を行うためには、マーカの数はいちより多いことが望ましいが、1 で述べた種々の制約により、図 3(a) のドットのすべての位置にマーカを貼付するのは現実的ではない。そこで図 6 に示すように、顔をいくつかの領域に分割し、各領域に 1 個以上のマーカを貼付する。ここで、領域分割は、表 1 や図 4 で示した代表的な表情筋の構造や動作に基づくとともに、例えば目の近傍のマーカの動きが口の動きの再現結果に影響しないように決定する。具体的には額、目、頬、上唇、唇横、下唇および顎の領域に分ける (図 6)。

マーカの移動量は、CCD カメラを用いて人間の顔を正面から撮影した人物画像を用いて無表情時からの相対的な 2 次元移動ベクトルとして表現される。

以上の点を考慮に入れ、以下にマーカの追跡を WFM の頂点の移動に変換するアルゴリズムを示す。ここで頂点は、(a) ドット上にマーカが貼付してある頂点、(b) ドットに対応するがマーカが無い頂点、(c) ドットもマーカも無い頂点、(d) 目、口周辺の特別領域の頂点の 4 つに分類される。以下に、各々を説明する。

- (a) 図 7(a) に示すように、基準ベクトルを \vec{m}_{hi} とすると、WFM の頂点 h において、基本表情 a と b の中間表情の 2 次元移動ベクトルは、

$$\vec{u}_h = k_h \vec{m}_{ha} + l_h \vec{m}_{hb} \quad (1)$$



図 5: 3次元計測を行った表情: (0) 無表情 (上段左)、(A) 表情 A (上段中央)、(B) 表情 B (上段右)、(C) 表情 C (中段左)、(D) 表情 D (中段中央)、(E) 表情 E (中段右)、(F) 表情 F (下段左)、(G) 表情 G (下段中央)、(H) 表情 H (下段右)

表 1: 表情筋の動作と構造の関係の例

	A	B	C	D	E	F	G	H
1. 後頭前葉筋	u			l				
2. 雛眉筋		x	x	x				
3. 鼻根筋			x	x				
4a. 眼輪筋 (眼瞼部)	o	i	i	i				(i)
4b. 眼輪筋 (眼か部)	o	i	i	i	(i)			(i)
5. 鼻筋			x					
6. 上唇鼻翼挙筋			x		x			
7. 上唇挙筋								x
8. 口角挙筋			(x)					x
9. 小頬骨筋								x
10. 大頬骨筋				(x)		x		x
11. 口輪筋			o	(o)	o	o	i	o
12. 頬筋						u	l	u
13. 笑筋								x
14. 下唇下制筋					x	x		
15. 口角下制筋						x		
16. オトガイ筋					l	u	u	l

- A: 額にシワを寄せる E: 口を大きく開く
 B: 眉間にシワを寄せる F: 口をへの字に曲げる u: upper o: outer x: oneway
 C: 鼻根にシワを寄せる G: 唇をすぼめて突き出す l: lower i: inner
 D: 強く目を閉じる H: 口を開いて笑う

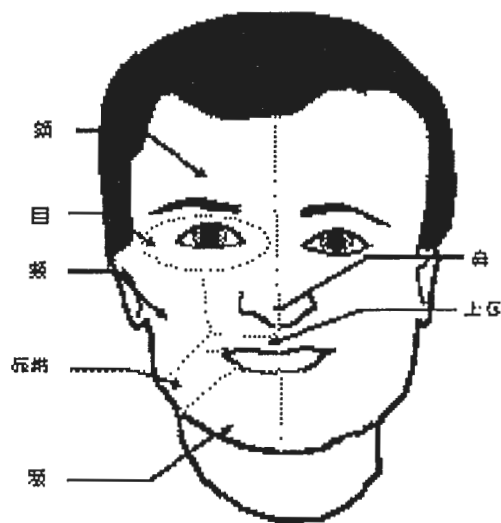


図 6: 顔の領域分割

で表される。

- (b) 3次元計測で用いたドット g の3次元座標 \vec{U}_g は、同じ顔の領域内において最も3次元距離の近いマーカ h の重み k_h, l_h (式(1)により求まる) および $\vec{m}_{ga}, \vec{m}_{gb}$ に対応する表情の3次元ベクトル $\vec{M}_{ga}, \vec{M}_{gb}$ を用いて、次式のように計算される。

$$\vec{U}_g = k_h \vec{M}_{ga} + l_h \vec{M}_{gb} \quad (2)$$

- (c) 3次元計測をあらかじめ行ったドット以外の3D WFMの頂点に対する移動規則として、その頂点を内部に含む三角形(ドットを3頂点とする)を考え、三角形の各頂点からの距離による重みづけを用いる[6]。基本3D WFMの内側に存在するドット以外の3D WFMの頂点に対しては、次のように重みを算出する。

図7(b)に示すように、3つのドット ABC を結んで作られる三角形 ABC の内側に存在する任意の頂点を P とする。頂点 P が ABC から受ける動きの影響(重み)は次のように計算される。ドット A から P を通り辺 BC に下ろした足を A' 、同様に B, C からの足を各々 B', C' とする。 P 点の A 点に対する影響の重み PW_a は、 $PW_a = \frac{|PA'|}{|AA'|}$ 、同様に、 PW_b, PW_c は $PW_b = \frac{|PB'|}{|BB'|}, PW_c = \frac{|PC'|}{|CC'|}$ となる。ただし、 PW_a, PW_b, PW_c の間には $PW_a + PW_b + PW_c = \frac{|PA'|}{|AA'|} + \frac{|PB'|}{|BB'|} + \frac{|PC'|}{|CC'|} = 1$ の関係がある。

P の実際の移動ベクトル \vec{dP} は、各点の移動ベクトル $\vec{dA}, \vec{dB}, \vec{dC}$ より

$$\vec{dP} = PW_a \cdot \vec{dA} + PW_b \cdot \vec{dB} + PW_c \cdot \vec{dC} \quad (3)$$

のように計算される。

- (d) 目、口周辺の領域など、基本3D WFMの外側に存在するドット以外の3D WFMの頂点に対しては、次のように重みを算出する。

3D WFMの任意の頂点を Q とする。この頂点 Q に影響を与える範囲は、 Q を中心とする半径 r の3次元的な球を設定し、その中心部、つまり頂点 Q そのものの上にドットがあった場合は1に、球の表面上にあった場合は0になるように線形に重みを設定する(図7(c))。点 Q に影響を与える各ドットを $S_i (i = 1, 2, \dots, n)$ とすれば、ある1つのドットが与える影響の重みは、次式のようになる。

$$QWS_i = \frac{r - |QS_i|}{r} \quad (4)$$

これを、影響を与えるすべてのドットについて計算し、各ドットの移動ベクトルを $\vec{dS}_i = (Sx_i, Sy_i, Sz_i)$ とするならば、点 Q の移動ベクトル \vec{dQ} は、次式のように表される。

$$\vec{dQ} = (\max.\{Sx_k\}, \max.\{Sy_k\}, \max.\{Sz_k\}) (k = 1, 2, \dots, i) \quad (5)$$

実際の実験上の手順を付録Aに、使用したパッチの説明を付録Bに各々示す。

4 マーカの配置と表情再現品質の関係

4.1 方針

忠実度の高い表情を再現するためには、表情検出において表情の特徴がよくあらわれる部分に数多くのマーカを顔に貼付すれば、高い忠実度の表情の再現が可能であると考えられる。1で

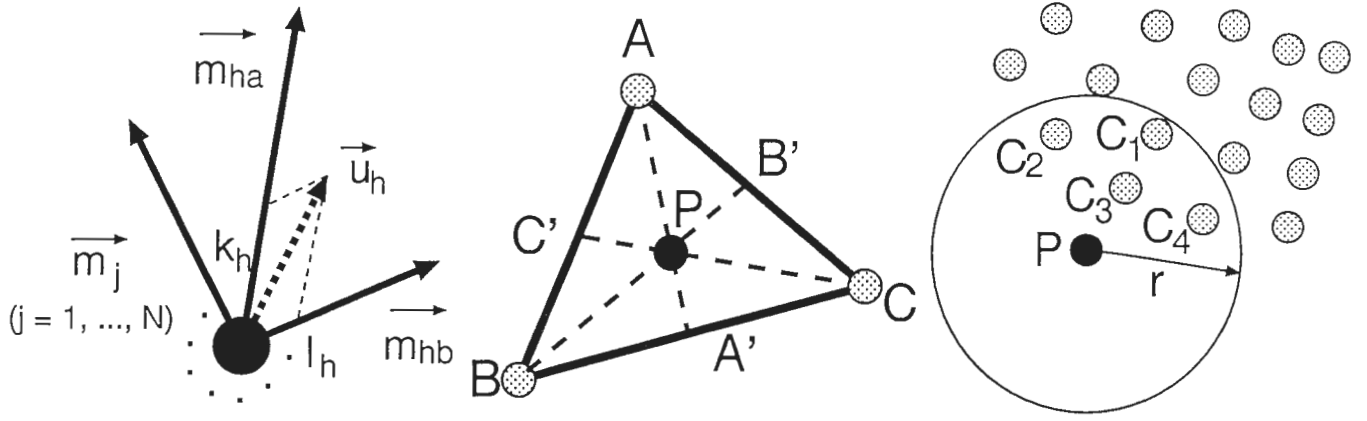


図 7: (a) 3次元計測データを用いたマーカの2次元ベクトルの表現例 (左)、(b) ドット以外の3D WFMの頂点の移動規則例 (中央)、(c) 特別領域の3D WFMの頂点の移動規則例 (右)

述べたように、マーカの数単純に増加させることは困難であり、マーカの最適な数と配置を検討する必要がある。なお、前述のように、マーカは図3(a)のドットの位置に貼付するものとする。

具体的には、表1に示す各表情について、顔画像平面において基準ベクトルが方向について均等に分布している、各基準ベクトルの長さが大きい、などがあげられる。本稿では、このような定性的性質をもつマーカの位置を、前述の3次元計測で用いたドットの中から選ぶために、ドットの重要度を4.2で定量的に定義する。この重要度の値に応じてマーカの数を変化させ、4.3以降で顔画像の再現品質との関係を検討する。

4.2 重要度の定義

3.1で述べた方法で3次元計測した N 種類の表情の3次元移動ベクトル \vec{M}_{hj} を顔画像平面に投影し、 N 個の2次元基準ベクトル \vec{m}_{hj} を得る。4.1で述べたように、 $\vec{m}_{hj}(j=1, \dots, N)$ の方向が均等、またはその大きさが大きいドットは、重要度が高い。そこで、重要度を定量的に表す式として、以下の5種類の尺度を定義する。

基準ベクトルの方向の均等性については、 N 個のベクトル \vec{m}_{hj} のなす角度が均等の場合の角度 $A(=360^\circ/N)$ 、隣あう2つのベクトル \vec{m}_{hj} 、 \vec{m}_{hj+1} のなす角度を θ とすると、 A と θ との差を評価する量として、 $\phi = |A - \theta|/N$ を導入する(図8)。また各 \vec{m}_{hj} の長さを λ とし、その最大値を λ_{max} 、平均値を λ_{avr} とする。さらに隣あう3次元ベクトル \vec{M}_{hj} 、 \vec{M}_{hj+1} のなす角度を ψ とする。

これらの量は、 ϕ および ψ の値が小さいほど、また λ_{max} と λ_{avr} の値が大きいほど重要度が高いと考えられる。これらを反映する重要度 I の尺度として、以下のものを導入し[4]、検討する。

$$I_1 = \frac{\lambda_{max} \cdot \lambda_{avr}}{\phi} \quad (6)$$

$$I_2 = \lambda_{max} \cdot \lambda_{avr} \quad (7)$$

$$I_3 = \lambda_{avr} \quad (8)$$

$$I_4 = \lambda_{max} \quad (9)$$

$$I_5 = \frac{\theta}{\psi} \quad (10)$$

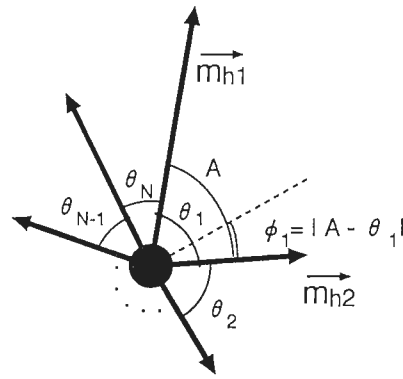


図 8: 2次元ベクトルの方向の一例

4.3 各重要度の特性

3.2で述べたように、マーカの数と位置の最適化は、顔の領域ごとに行う。顔の領域を額、目、鼻、頬、上唇、唇横、顎(下唇を含む)の7つの領域に分割し(図6)、各々の領域ごとに、式(6)から式(10)の重要度の値を用いて、3次元計測を行った顔半面のドットのうち、ヘルメットに装着したCCDカメラからの2次元計測が可能であった99点を最大マーカ数として、マーカの候補となるべき点を削減していく。一例として、0%、25%、50%、75%、98%削減の場合の計5通りの場合を考え、移動ベクトルの推定精度と真値との平均二乗誤差を実験的に検討する。

4.4 マーカ数と再現品質

4.2で述べた5種類の重要度に基づき、静止画において、マーカ数を削減した場合の移動ベクトルの推定精度と真値との平均二乗誤差について述べる。

4.3で述べた削減率において、 $I_1 \sim I_5$ の手法でマーカ数を99点から削減した場合における3D WFMの頂点の位置と真値との平均二乗誤差を求めた結果を図9に、表情再現画像を図10～14に各々示す。

これより、平均自乗誤差の値においても、CGを用いた表情再現画像においても、 $I_1 \sim I_5$ の間に大きな差が見られず、また、マーカの数や表情再現品質にほとんど影響を与えないという結果が得られた。

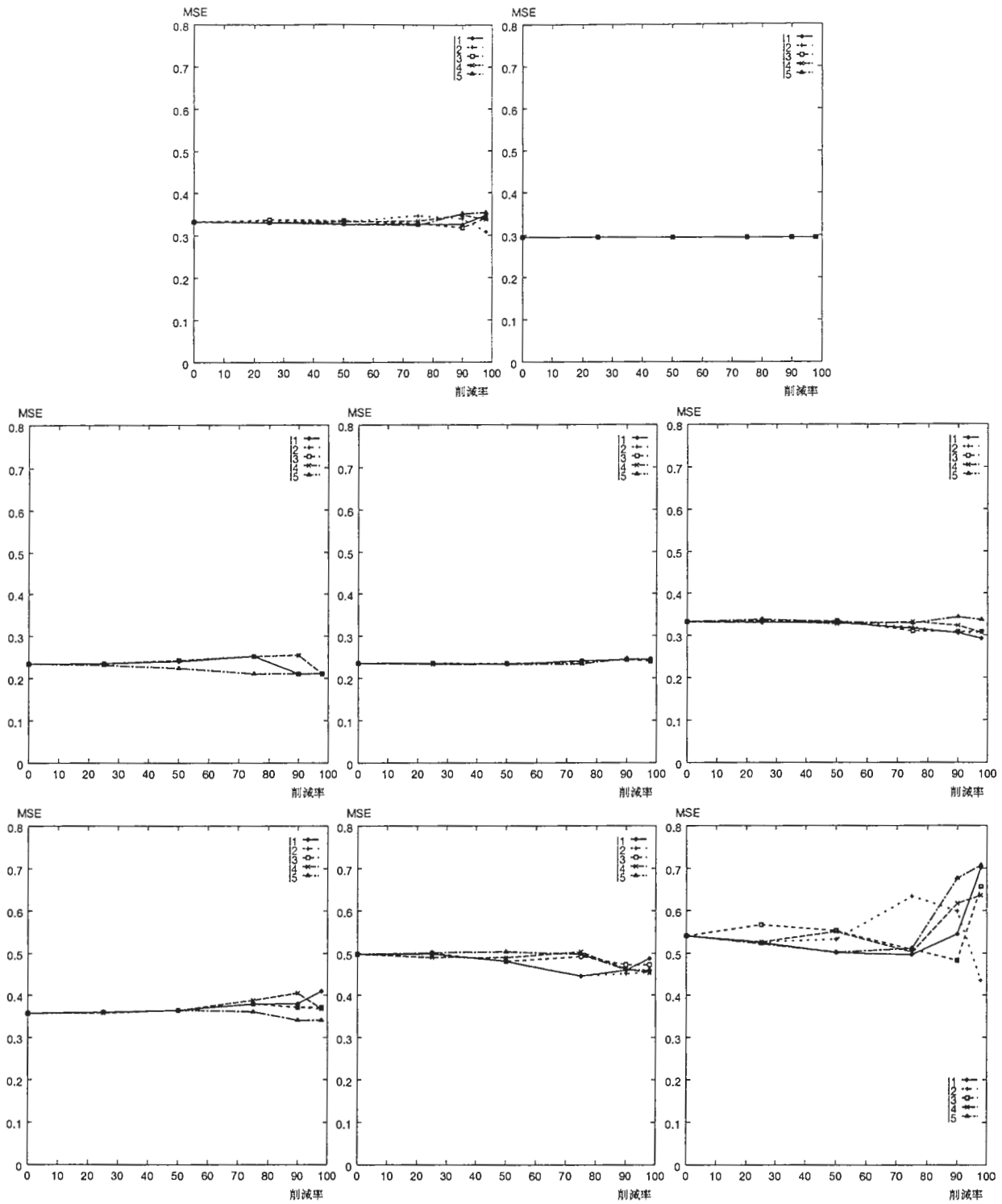


図 9: 平均自乗誤差: (a) 全領域平均 (上段左)、(b) 額 (上段右)、(c) 目 (中段左)、(d) 鼻 (中段中央)、(e) 頬 (中段右)、(f) 上唇 (下段左)、(g) 唇横 (下段中央)、(h) 顎 (下段右)



図 10: I_1 : (a) CCD カメラで撮影した画像 (上段左)、(b) 原画像 (上段右) (c) 0 % (中段左)、(d) 25 % (中段中央)、(e) 50 % (中段右)、(f) 75 % (下段左)、(g) 90 % (下段中央)、(h) 98 % (下段右) の場合の再現画像



図 11: I_2 : (a) CCD カメラで撮影した画像 (上段左)、(b) 原画像 (上段右) (c) 0 % (中段左)、(d) 25 % (中段中央)、(e) 50 % (中段右)、(f) 75 % (下段左)、(g) 90 % (下段中央)、(h) 98 % (下段右) の場合の再現画像



図 12: I_3 : (a) CCD カメラで撮影した画像 (上段左)、(b) 原画像 (上段右) (c) 0 % (中段左)、(d) 25 % (中段中央)、(e) 50 % (中段右)、(f) 75 % (下段左)、(g) 90 % (下段中央)、(h) 98 % (下段右) の場合の再現画像



図 13: I_4 : (a) CCD カメラで撮影した画像 (上段左)、(b) 原画像 (上段右) (c) 0 % (中段左)、(d) 25 % (中段中央)、(e) 50 % (中段右)、(f) 75 % (下段左)、(g) 90 % (下段中央)、(h) 98 % (下段右) の場合の再現画像



図 14: I_5 : (a) CCD カメラで撮影した画像 (上段左)、(b) 原画像 (上段右) (c) 0 % (中段左)、(d) 25 % (中段中央)、(e) 50 % (中段右)、(f) 75 % (下段左)、(g) 90 % (下段中央)、(h) 98 % (下段右) の場合の再現画像

5 むすび

臨場感通信会議における忠実な実時間表情再現の3次元顔モデルでの実現を目指し、各種表情表出時の3次元計測に基づく新しい手法を提案した。本稿の手法では、まずあらかじめ多数のドットを描き、表情筋の動作を考慮に入れた各種表情(本稿では8種類)を表出した時の各ドットの、無表情状態からの3次元移動ベクトルを計測しておく。これら3次元ベクトルを、表情検出系の顔画像平面に、基準ベクトルとして投影しておく。表情再現時には、顔画像中で顔に貼付されたマーカを追跡して2次元移動ベクトルを検出し、これをはさむ2つの基準ベクトルの和で表現する。この情報に基づき、3次元顔モデルを構成するWFMの頂点を適宜移動し、表情を再現した。

この手法を実証するために、「あ/い/う/え/お」の表情表出時のマーカの2次元移動ベクトルを入力ベクトルとした場合の3D WFMの頂点の3次元移動ベクトルを表情再現アルゴリズムを用いて算出した。その結果に基づいて3D WFMを変形、テクスチャマッピングし、CGによる表情再現画像を作成したが、口の領域の動きなどに課題が残り、3.2のアルゴリズムの改善の必要性が明らかになった。

また、ドットの位置にマーカを貼付することを前提に、マーカの最適配置を検討した。各ドットの基準ベクトルの分布等に基づく重要度尺度を5種類定義し、その値にしたがい、マーカを削減していった場合の表情再現品質を検討した。前述の8個の基準ベクトルを作成した表情とは異なる5種類の表情の静止画について、再現表情画像の誤差を求めたが、再現に使用した表情が顔全体にわたる変化を伴っていなかったため、平均自乗誤差の値においても、表情再現画像においても、マーカの数に表情再現品質にほとんど影響を与えないという結果が得られた。

今後、実験データの取得法を見直し、マーカの最適配置を明らかにする。

謝辞

本研究を進めるにあたり、御指導頂きました(株)ATR通信システム研究所 葉原耕平会長および寺島信義社長に感謝致します。有益な御討論御助言をして頂いた坂口竜己氏(成蹊大学)ならびに知能処理研究室の皆様へ感謝致します。実験に御協力下さいました越知武氏に感謝致します。

参考文献

- [1] 岸野文郎. 『臨場感通信』, テレビ誌, Vol. 46, No. 6, pp. 698-702, (Jun. '92).
- [2] J. Ohya, Y. Kitamura, F. Kishino, N. Terashima, H. Takemura and H. Ishii. "Virtual Space Teleconferencing: Real-Time Reproduction of 3-D Human Image", VCIR Vol. 6, No. 1, pp.1 - 25 (Mar. '95)
- [3] 大谷淳, 北村泰一, 竹村治雄, 岸野文郎. 『臨場感通信会議システムにおける3次元顔画像の実時間表示』, 信学技報 HC92-61. (Jan. '93)
- [4] 鈴木紀子, 大谷淳, 岸野文郎. 『3次元計測データの重要度に応じた表情再現品質の検討』. 信学技報 HC94-83 (Feb. '95)
- [5] 中尾喜保, 『新版 生体の観察』. (株) メヂカルフレンド社 (Dec. '81)
- [6] 坂口竜己, 森島繁生, 大谷淳, 岸野文郎. 『3次元計測に基づく顔表情変化の分析と合成』. 信学技報 HC93-74. (Jan. '94)
- [7] P. Ekman and W. V. Friesen. (工藤力 訳編) 『表情分析入門』誠信書房 (Apr. '87)

A 顔画像表情再現までの一連のながれ

● Cyberware 3D digitizer を用いた 3 次元計測およびデータベース構築

1. 人間の顔に直接ドットを描く
2. Cyberware 3D Digitizer を用いて、無表情、ある表情表出時のドットの 3 次元位置座標を取得
3. 前述のデータから、ある表情におけるドットの無表情からの 3 次元移動ベクトル算出 (単位: cm)
4. 前述の 3 次元移動ベクトルを顔平面に投影し、ドットの 2 次元移動ベクトル算出、基準ベクトル作成 (単位: cm)

備品: 青色の口紅、綿棒 (顔に円形の点をプロットするため)、水色シール、椅子 (Cyberware 3D digitizer データ取得用特製)

仮定条件: 顔が地面と垂直かつ正面を向いていること

● CCD カメラを用いた 2 次元計測およびデータベース構築

1. 人間の顔に直接ドットを描く (ドットの位置は前述の場合と同じとする)
2. CCD カメラを用いて、正面から無表情、ある表情表出時のドットの 2 次元位置座標を取得
3. 前述のデータから、ある表情におけるドットの無表情からの 2 次元移動ベクトル算出、基準ベクトル作成 (単位: subpixel)

備品: 青色の口紅、綿棒 (顔に円形の点をプロットするため)、水色シール、青色立体マーカー、ヘルメット (CCD カメラ用)

仮定条件: 顔が地面と垂直かつ正面を向いていること

● 表情再現方法

– 入力側

1. CCD カメラを用いて人間の顔の正面から各マーカーの無表情からの 2 次元移動ベクトルを取得、入力ベクトルとする。
2. 表情再現アルゴリズムに従い、あらかじめ構築してある 2 次元計測データベース (CCD カメラを用いてデータを取得) にある基準ベクトルのうち、入力ベクトルを挟む 2 つの表情のベクトルに重みをかけて入力ベクトルを表現 (ここで用いるパッチの仕様については、付録 B 参照)、3D WFM の各頂点について基準ベクトルの表情の種類および重みの値を算出する。
3. 算出した表情の種類と重みの値を表示側に送信する。

– 表示側

1. 入力側から送信された表情の種類と重みの値を基に、3 次元計測データベース (Cyberware 3D digitizer を用いてデータを取得) の基準ベクトルを用いて、3D WFM の各頂点の 3 次元移動ベクトルを算出。
2. 算出された 3D WFM の各頂点の 3 次元移動ベクトルの値を基に、CG を用いて表情再現画像を作成する。

B 表情再現アルゴリズムにおけるパッチの仕様

- 送信側

- video camera データ (入力データ)

- * 各ドットの2次元座標の値は、サブピクセル単位で計測する

- 共通

1. 選択された2つの基準ベクトル (以下、選択基準ベクトルと書く) のなす角が 120° ($\theta \leq 120$) 以下か?
 - (a) yes \rightarrow 6. へ
 - (b) no \rightarrow next
2. 入力ベクトルの長さがリミット (video camera: 5 pixel, cyberware 3D digitizer: 2mm) の1.5倍以内か?
 - (a) yes \rightarrow ノイズとみなして削除 (図15)
 - (b) no \rightarrow next

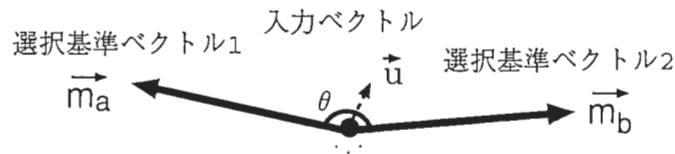


図15: ノイズとみなして削除する場合

3. 入力ベクトルの大きさが、2つの選択基準ベクトルよりも大きいか?
 - (a) yes \rightarrow 2つの選択基準ベクトルのさらに外側 10° ($\phi_1, \phi_2 \leq 10$) 以内により基準ベクトルが複数存在すれば、その中から最も大きな基準ベクトルを選択基準ベクトルとする (図16) \rightarrow next
 - (b) no \rightarrow next

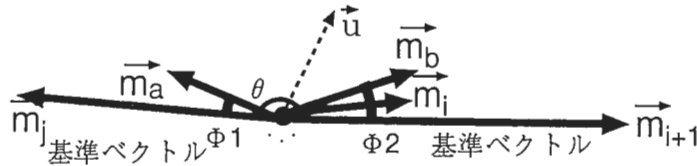


図16: 選択基準ベクトルの変更その1

4. 入力ベクトルが、選択基準ベクトルどちらか一方の 5° ($\psi \leq 5$) 以内に存在するか?
 - (a) yes \rightarrow 入力ベクトルを 5° の選択基準ベクトル上のベクトルとみなす (図17)
 - (b) no \rightarrow next



図17: 選択基準ベクトルの変更その2

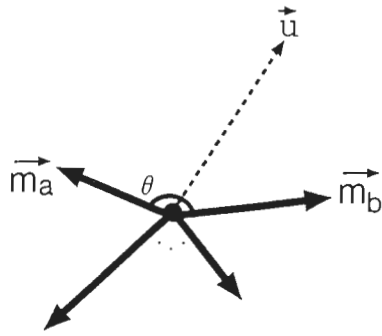


図 18: 前値ホールドの場合

5. 1 frame 前のその頂点の移動ベクトルの値をそのまま保持する (前値ホールド) (図 18)
6. 入力ベクトルの大きさが 2 つの選択基準ベクトルよりも大きくて、かつ大きい方の選択基準ベクトルの 2 倍以上大ききさを持つか?
 - (a) yes \rightarrow 2 つの選択基準ベクトルのさらに外側 10° ($\phi_1, \phi_2 \leq 10$) 以内により大きな基準ベクトルが存在すれば、それを選択基準ベクトルとする (図 19)
 - (b) no \rightarrow next

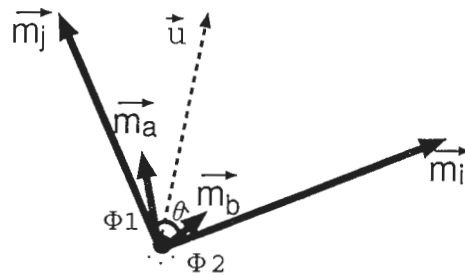


図 19: 選択基準ベクトルの変更その 3

7. 2 つの選択基準ベクトルの比が $1:3$ 以上でかつ入力ベクトルが小さい方の選択基準ベクトルの大ききの 2 倍以上ならば、入力ベクトルを大きい方の選択基準ベクトル上のベクトルとみなす (図 20)

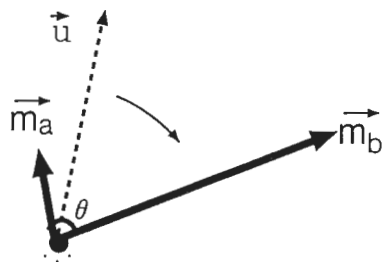


図 20: 選択基準ベクトルの変更その 4

● 表示側

- 3D WFM の各頂点において、z 軸方向の移動ベクトルの大ききは $\pm 1\text{cm}$ を限界値とする

- 口の周りの 3D WFM の頂点は、口の端の点の動きを参照した上で、 z 軸方向の移動ベクトルを作成する

ただし、 x の値 x は、暫定的に決めてある値であり、変数として扱うことができる。