

似顔絵コンピュータPICASSO開発の試み

村上和人 奥水大和 中山 晶 福村晃夫

中京大学情報科学部

似顔絵の生成問題（特徴の抽出と誇張）と似顔絵の評価問題は、突き詰めれば同じ問題である。単に特徴の抽出と誇張のメカニズムを示しただけでは十分ではなく、評価メカニズムをどこかに組み入れなければ、問題は解決しない。本稿では、まず、誇張法（中割り法=in-betweening method）による似顔絵生成方法を示し、その特長と問題点を整理する。次に、似顔絵の評価に錯視量が利用できる可能性について検討し、ヴント・フィック錯視、ボンゾ錯視など、具体的な錯視量の定義と誇張率の制御の方法を紹介する。

A DEVELOPMENT OF FACIAL CARICATURE SYSTEM PICASSO

--- On the generation and evaluation of facial caricatures ---

Kazuhito Murakami Hiroyasu Koshimizu Akira Nakayama Teruo Fukumura

School of Computer and Cognitive Sciences (SCCS), Chukyo University

101 Tokodate, Kaizu-cho, Toyota 470-03 Japan

In the PICASSO, a system for facial caricature generation, as the basic mechanisms to extract and deform the individuality features of faces have been already proposed, the next subject is to realize an autonomous mechanism to evaluate facial caricatures. In the PICASSO, some visual illusions such as Wundt-Fick and Ponzo illusions for example, are applied to evaluate the shapes of facial parts such as eye-brows, nose, mouth and face contour, in the deformation process. In many cases, as well-deformed caricatures are evaluated to be successful, it is confirmed that the utilization of the visual illusion is effective to evaluate caricatures.

1. まえがき

筆者らは、一般に人手によって描かれる似顔絵を、コンピュータに描かせようと試み、そのシステムをP I C A S S Oと名付けて開発している。広義には、感性情報処理の一つであるが、人の視覚特性を考慮した画像処理や画像理解を中心的テーマとすることから、P I C A S S Oの開発は、認知的ビジョン (cognitive vision) とでも言うべき分野の一研究である。

ところで、コンピュータは本当に似顔絵を描けるか？ もし可能ならば、よい似顔絵とは何か？ 図1の似顔絵を見ると、人は右側の似顔絵は崩れすぎていて、左側の似顔絵の方が出来がよいことは容易に理解できる。では、コンピュータでは、その出来映えはどのように評価したらよいのか？ 世に似顔絵師が何人も存在し、それぞれが描く似顔絵は皆、異なっているように、これらの間に対する回答も一通りではなからう。

そこで、筆者らは、まず、中割り法を基本とした特徴抽出と誇張プロセスを構築した。次に、人の主観的な判断に委ねられていた評価の手掛かりを、認知科学、実験心理学などに求めながら、客観的な評価尺度[1-3]の導入を行い、似顔絵の評価プロセスを構築した。具体的には、顔部品に各種の錯視図形[4]を想定し、実験心理学などで求められている錯視量(錯覚の起こる程度)が生じたら誇張(変形)プロセスを終了する、あるいは、錯視を生じるように強引に物理的変形を行うことにより、より印象的な似顔絵の生成を試みた。

本稿では、まず、誇張法による似顔絵生成方法とその問題点について整理する。次に、似顔絵評価に対する錯視利用の可能性について検討し[5,6]、

ヴェント・フィック図形錯視、ボンゾ図形錯視、ミュラー・リヤー図形錯視を組み合わせ的に利用して、似顔絵生成において、どこまで出来映えを評価できるかを実験例とともに示す。

2. 似顔絵生成方法

本章では、中割り法 (in-betweening[7]) と呼ばれる誇張法について紹介する。基本的な考え方は、「特徴のない」平均的な顔画像と入力顔画像とのズレ部分を個性特徴として抽出し、その特徴を誇張して似顔絵を生成するものである。

2.1 顔のデータ構造

2.1.1 顔データの初期記述

筆者らが開発中の似顔絵師システムP I C A S S O[8-12]では、顔をパターン平面上の $x-y$ 座標値(x_i, y_i) ($i=1, \dots, N$)で表現し、これらを直線で結び、線画として顔を生成・表現している。図2に顔要素の一例を示す(正面顔)。

顔データは、大別して、次の3つのクラスの顔部品/要素で構成されている。

- ・基本部品……一般人が共通に持つ基本的な部品
[「基本部品」 | ex. 目, 鼻, 口, ……]
- ・付加部品……特別に持つ顔部品/要素
[「付加部品」 | ex. 髭, 皺, 黒子, 眼鏡, ……]
- ・隠れ部品……髪などで隠れて見えない顔部品
[「隠れ部品」 | ex. 髪に隠れた耳, ……]

普通の顔の場合、基本部品の数は37であり、各部品毎のデータ数は一定である。付加部品、隠れ部品は、大きさ、形状とも変化に富むので、個数、データ数ともに任意である[13]。

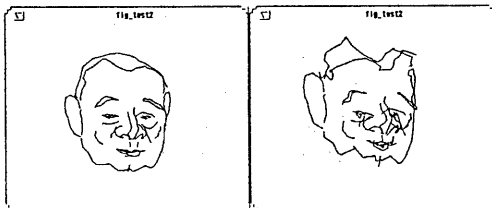


図1. 似顔絵の一例 (右側は誇張のし過ぎ)

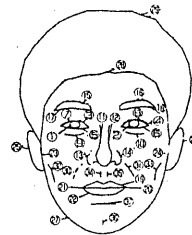


図2. P I C A S S Oにおける顔要素一覧

2.1.2 顔データの正規化

写真やTVカメラより入力される顔データの傾きや大きさは一定ではない。そこで、個性特徴抽出を容易にするために、各人の初期データは、

- ①左目の虹彩の始点の位置=固定
- ②左右の虹彩の始点を結んだ線分=水平
- ③ " " =一定長

となるように、予め簡単なアフィン変換を施して正規化しておく。

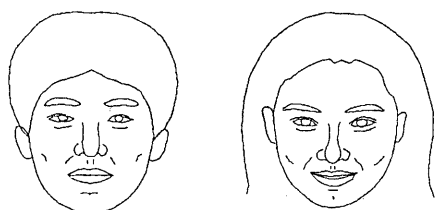
2.2 基準顔(平均顔)

個性特徴の抽出のための基準顔として、特徴のない顔を用意する。PICASSOでは、基準顔として、対応する点 (x_i, y_i) ($i=1, \dots, N$) 毎にM人の顔の平均を取った「平均顔」を用いている。

$$x_i^{(S)} = \sum_{j=1}^M x_i^{(j)} / M, \quad y_i^{(S)} = \sum_{j=1}^M y_i^{(j)} / M$$

$$i=1, 2, \dots, N \quad (1)$$

図3に平均顔の一例を示す。図3(a)は平均年齢22才の男子学生、図3(b)は20才前の女性タレントから作成したものである。



(a) 男子学生 (b) 女性タレント

図3. 平均顔の一例

2.3 中割り法とデフォルメ

中割り法による似顔絵生成は、図4に示すように、入力顔P(簡単なアフィン座標変換を施して正規化してある)、および、特徴のない平均的な顔S(2.2の基準顔、あるいは、平均顔)を与え、誇張率bを用いた式(2)の変形(中割り法)に

より、似顔絵Qを生成する。誇張率bを増加させるに従い、顔の個性特徴をより誇張した似顔絵が得られる。

$$x_i^{(Q)} = x_i^{(P)} + b(x_i^{(P)} - x_i^{(S)})$$

$$y_i^{(Q)} = y_i^{(P)} + b(y_i^{(P)} - y_i^{(S)})$$

$$i=1, \dots, N \quad (2)$$

P:入力顔, S:平均顔, Q:似顔絵, b:誇張率

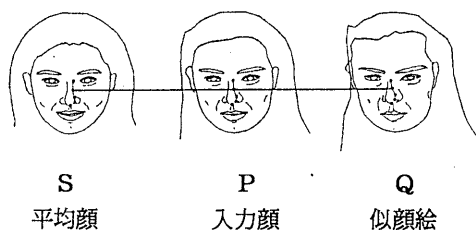


図4. 中割り法による似顔絵生成の仕組み

2.4 似顔絵作品例

図5に中割り法で作成した似顔絵の一例を示す。並んでいる5つの顔は、誇張率bを0.25刻みで変えて似顔絵の生成過程を示したものであり、一番左がb=0、一番右がb=1.0である。



筑紫哲也(ジャーナリスト)



ブッシュ米国大統領

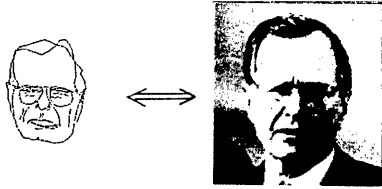


田中美奈子(タレント)

b=0

b=1

図5. 誇張率の変化による似顔絵の生成過程



似ている？

(a)「無誇張の顔」v.s.「誇張された顔」



どれがベスト？

(b)「誇張された顔」v.s.「さらに誇張された顔」

図6．似顔絵評価時の比較対象顔

3. 錯視による似顔絵評価の基本方針

3.1 似顔絵評価の定式化

似顔絵の良否は、一般的には、写真やテレビなどで見る顔と比較して評価される。これは、図6 (a) に示すように、原画像と似顔絵の比較、すなわち、①「無誇張の顔」と「誇張された顔」との比較である。他方、図6 (b) に示すように、似顔絵の生成過程が観察できる場合や、多数の変形された顔の中から最良の似顔絵を選択する場合などは、②「誇張された顔」と「さらに誇張された顔」との比較である。

このことは、誇張率（誇張の程度）を b 、一般化された物理量（距離、角度、錯視量など）を $g(b)$ 、評価閾値を θ_0 、 $\theta_{\Delta b}$ とおいて一般形で記述すると、上述の①、②の比較評価式は、各々、式(3)、(4)のように定式化できる。

$$\frac{g(b)}{g(0)} \begin{matrix} > \\ \equiv \\ < \end{matrix} \theta_0 \quad (3)$$

$$\frac{g(b)}{g(b-\Delta b)} \begin{matrix} > \\ \equiv \\ < \end{matrix} \theta_{\Delta b} \quad (4)$$

すなわち、誇張にともなって変化するある物理量 $g(b)$ に注目し、 $g(0) \times \theta_0$ と等しくなったら適度にデフォルメされたと考え、誇張プロセスを終了する（符号の“<”，“>”は、誇張不足、誇張過多を意味する）[14,15]。

3.2 錯視量の適用と評価

式(3)、(4)で示したある物理量 $g(b)$ と評価閾値 θ に、錯視量を適用することを試みる。すなわち、顔部品／顔要素に錯視図形パターンを想定し、錯視量を求める。なお、顔部品の形状は複雑で、理想的な錯視図形は想定しにくいので、式(5)に示す係数（関数）により補正する。

$$g'(b) = g(b) \times (1 + \alpha) \quad (5)$$

α ：補正係数（関数）

誇張プロセスを制御する閾値 θ は、実験心理学で得られている人の目の錯視量を用いる。こうすると、人のものの見え方を定量的に評価した数値を直接的に利用することになるので、似顔絵の出来映えを、人の目の特性に準拠して評価したと言える。

4章では、ヴント・フィック図形錯視、ミュラー・リヤー図形錯視、および、ボンゾ図形錯視と、実験心理学で得られている各々の錯視量（例えば、何%長く見えるかといった値、など）を、式(3)の物理量 $g(b)$ と閾値 θ に適用した例について紹介する[14-19]。

4. 錯視図形と適用事例

4.1 ヴント・フィック図形錯視の利用

4.1.1 ヴント・フィック図形錯視

ヴント・フィック図形錯視（分割過小視）と呼ばれる一例を図7 (a) に示す。同じ長さの線分でも、分割された側の線分の長さは、実際よりも短く見えるという錯視である。

4.1.2 錯視量の定義と適用

図7 (b) に示すように、水平線分の長さを h 、

垂直線分の長さを v とする。水平線分と垂直線分の間の距離 d が大きくなるほど錯視効果は小さくなる。また、2つの線分が θ の傾きを持つとき、 θ が直角から離れるにしたがって、錯視効果は小さくなる。

PICASSOでは、図7(c)に示すように、眉毛でできる横のストロークと鼻の線で決まる縦のストロークを、分割過小視と呼ばれるヴント・フィック図形に対応させて、顔の内部部品の縦横

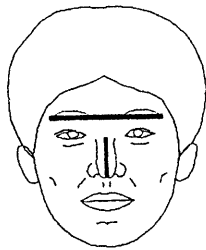
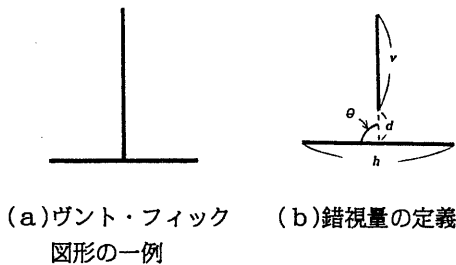


図7. ヴントフィック図形錯視

比の印象的構造（崩れているか否か）を評価する。ヴント・フィック図形錯視の錯視量 $g_{WF}(b)$ は、便宜的に式(6)、(7)に示すように定義する。なお、補正係数（関数） α は誇張率 b の関数であるが、式表記では省略してある。

$$g_{WF}(b) = \frac{v(b)}{h(b)} \times (1 + \alpha) \quad (6)$$

$$\alpha = 0.15 \times e^{1 - (v/h + h/v)/2} \cdot \sin \theta \cdot e^{-d/v} \quad (7)$$

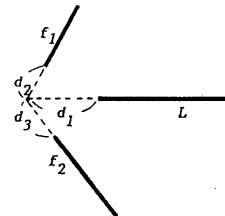
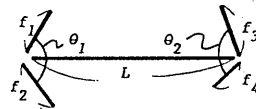
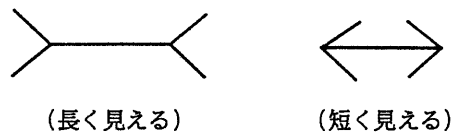
4.2 ミュラー・リヤー図形錯視の利用

4.2.1 ミュラー・リヤー図形錯視

ミュラー・リヤー図形錯視は、同じ長さの線分でも、補助的な線分が加わると、長く／短く見えるというものである。一例を図8(a)に示す。

4.2.2 錯視量の定義と適用

図8(b)に示すように、中央の線分の長さを L 、4つの矢羽根の長さを、各々、 f_1, f_2, f_3, f_4 とする。また、矢羽根 f_1 と f_2 のなす角を θ_1 、 f_3 と f_4 のなす角を θ_2 、さらに、3つの線分からの距離総和の最小点と、3つの線



(b) 錯視量の定義

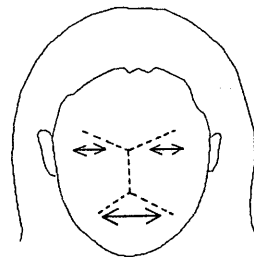


図8. ミュラー・リヤー図形錯視

分の端点までの距離を d_1, d_2, d_3 とする。(他方は、 d_4, d_5, d_6)。矢羽根の先の3線分が集中して尖っているほど効果は大きく、また、矢羽根が長過ぎる／短か過ぎる場合は、効果はしだいに小さくなる。さらに、角度にも依存する。

PICASSOでは、図8(c)に示すように、両目と鼻と口の計4箇所にもユラー・リヤー図形を適用している。具体的には、①目の水平線分(物理的には存在しないが、主観的に存在するので、目尻と目頭の座標を指定する)と目の上辺と下辺(但し、目尻に皺がある場合は皺を利用する)、②上唇の下辺(または下唇の上辺)と唇の上下の辺(但し、口の皺が顕著な場合は、皺を利用する)、③眉(または目)と鼻と口の皺、に各々ユラー・リヤー図形を想定している。

ユラー・リヤー図形錯視の錯視量 $g_{ML}(b)$ は、便宜的に式(8)～(12)に示すように定義する。なお、補正係数(関数) β は誇張率 b の関数であるが、式表記では省略してある。

$$g_{ML}(b) = 1 + \beta \quad (8)$$

$$\beta = 0.20 \times \beta_1 \times \beta_2 \times \beta_3 \quad (9)$$

ただし、

$$\beta_1 = 10 \frac{f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4}{L^4} \times e^{-4(1 - \frac{\sqrt{f_1 \cdot f_2} + \sqrt{f_3 \cdot f_4}}{L})} \quad (10)$$

$$\beta_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \{ \sin \theta_1 \cdot e^{(\pi/4 - \theta_1)} + \sin \theta_2 \cdot e^{(\pi/4 - \theta_2)} \} \quad (11)$$

$$\beta_3 = \frac{1}{2} \{ e^{-(d_1/L + d_2/f_1 + d_3/f_2)} + e^{-(d_4/L + d_5/f_3 + d_6/f_4)} \} \quad (12)$$

4.3 ポンゾ図形錯視の利用

4.3.1 ポンゾ図形錯視

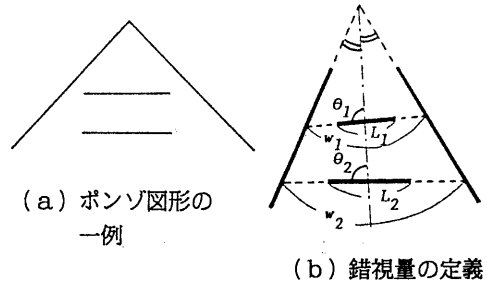
ポンゾ図形錯視は、逆V型の枠組(条件図形)

の内側の2本の水平線分は物理的には同一の長さであるが、枠組の線分に影響されて、角頂に近い上方の水平線分の方が長く見える錯視現象である。一例を図9(a)に示す。

4.3.2 錯視量の定義と適用

図9(b)に示すように、水平線分の長さを L_1, L_2 、水平線分の位置における条件図形の線分間の距離を w_1, w_2 とする。また、頂角の2等分線と水平線分のなす角を θ_1, θ_2 とする。頂角が大きいほど効果は大きい。また、輪郭の直線との相対的な位置関係によって、 L_1 が長く見えたり、 L_2 が短く見えたりする。

PICASSOでは、図9(c)に示すように、目と口を水平線分に、また、髪の毛の生え際(または、髪の毛の輪郭)を条件図形と見なしたポンゾ図形に対応させて、顔の輪郭との印象的構造を評価する。ポンゾ図形錯視の錯視量 $g_{PZ}(b)$ は、便宜的に式(13)、(14)に示すように定義する。なお、補正係数(関数) γ は、実際は誇張率 b の関数であるが、式表記では省略してある。



(c) 顔パターンへの適用例

図9. ポンゾ図形錯視

$$g_{PZ}(b) = \frac{L_1(b)}{L_2(b)} (1 + \gamma) \quad (13)$$

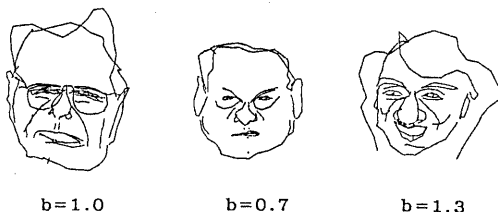
$$\gamma = 0.10 \times \frac{L_1}{L_2} \cdot \frac{w_2}{w_1} \cdot \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2 \times e^{1 - (L_1/w_1 + w_1/L_1)/2} \quad (14)$$

5. 実験

5.1 錯視による制御実験例

5.1.1 ヴント・フィック図形錯視による制御

図10に実験結果の一例を示す。これは、眉と鼻に適用したヴント・フィック図形錯視のみで制御した例である。図10(a)は、 $g_{WF}(b)$ が、 $g_{WF}(0) \times 1.10$ (110%) を越えたところで誇張プロセスを終了させたものである。1.10 (110%) なる値は、実験心理学より得られたヴント・フィック図形錯視の典型的な値である。多くの場合、ヴント・フィック図形錯視のみで変形プロセスを



B. 大統領 E. 大統領 ジャッキー・チェン
(a) ヴント・フィック図形錯視による制御



R. 前大統領 黄選手 曙 関
(マソン金メダリスト)
(b) ポンゾ図形錯視による制御

図10. 実験結果の一例

うまく停止させることができた。

5.1.2 ポンゾ図形錯視による制御

図10(b)は、ポンゾ図形錯視によって制御した例である。ヴント・フィック図形錯視による評価と同様に、 $g_{PZ}(b)$ が $g_{PZ}(0) \times 1.06$ (106%) を越えたところで誇張プロセスを終了させたものである。1.06 (106%) なる値は、実験心理学より得られたポンゾ図形錯視の典型的な値である。

5.2 特数量の判別と制御手順

4章では単独の錯視量による制御手法と制御実験例を紹介したが、現実には、複数の錯視現象が同時に生起していることが予想される。そこで、複数の錯視図形が混在していた場合、図11のルールにしたがって、錯視のプライオリティの設定を行う。

例えば、中割り法による誇張にしたがって顔部品の縦横のバランスが大きく崩れた場合、位置のズレやアンバランスが個人性特徴の一つであると考えられる。また、崩れが小さい場合、相対的な位置関係(バランス)に特徴は認められず、形状に特徴があるとも考えられるので、目、鼻、口などの個々の部品をポンゾ図形錯視、ミュラー・リヤー図形錯視で制御する。

visual illusion rules		Pe
<pre> if value (qWF(b)/qWF(0)) > 1.15 then 誇張停止 ; 縦バランスの保持 if func (qWF(b)/qWF(0)) : 縮小 then 誇張停止 ; 縮小点 if func (qWF(b)/qWF(0)) : 誇張増加 then check P2, HL ; バランス変化小 if func (qWF(b)/qWF(0)) : 誇張減少 then check P2, HL ; バランス変化小 if value (qP2(b)/qP2(0)) > 1.06 then 誇張停止 ; 縦横形状矯正 if func (qP2(b)/qP2(0)) : 変化小 then check others ; 誇張顔特徴減少 if value (qHL(b)/qHL(0)) > 1.20 then 誇張停止 ; 形状バランスの保持 if func (qHL(b)/qHL(0)) : 相隣内 then check P2 ; 形状の特徴増強 if func (qHL(b)/qHL(0)) : 顕著 then 特徴部品誇張 ; 顔部品が特徴的 </pre>		

図11. 錯視適用ルール (一部)

6. まとめと課題

似顔絵の出来映えの評価法として、錯視現象の導入を試みた。ヴント・フィック図形、ミュラー・リヤー図形、および、ポンゾ図形の各々の錯視評価式を定義し、誇張率の制御の方法を紹介した。幾例かの顔データに適用して実験した結果、人の錯視現象を利用すれば、似顔絵の出来映えをP I CASSO自身で評価させる可能性を確かめるこ

とができた。このことは、単にPICASSOシステムの評価法の確立に留まらず、いわば、「認知的ビジョン」という観点からも意義深い。さらに、中割り法の枠組を越える似顔絵生成法や、似顔絵の自動作成への手がかりを得たと言ってもよい[20]。

本稿で一部示したように、錯視図形を適用する場合には、複数の錯視現象の組み合わせ的適用が現実的であり、この意味からも、錯視図形相互のより多角的な扱いが必要である。視野上半過大視など、他にも認知的評価に有効と考えられる錯視現象は、多数知られているので、本稿のWF、ML、PZの各々の値と併せて、総合的に似顔絵変形の仕組みを検討することが期待される。

《謝 辞》

本研究の一部は、平成4年度文部省科研費（重点領域研究 No.04236221）、（財）人工知能研究振興財団の平成4年度研究助成金、（財）堀情報科学振興財団（平成4年度研究助成金）の支援による。

《文 献》

- [1]V.ブルース(吉川訳):顔の認知と情報処理, サイエンス社(1990)
- [2]ワークショップ「顔」(世話役代表 原島)(1991.8.26 ~27)
- [3]村澤博人:顔と文化,「顔」シンポジウム資料 pp.19-29(工学院大1992.3)
- [4]今井省吾:錯視図形, サイエンス社(1980)
- [5]奥水大和:「コンピュータは、本当に似顔絵を描けるか?—コンピュータビジョンというサイエンス」, 大学時報, 第220号, pp.114-123(1991.9)
- [6]奥水, 村上, 中山, 福村:「似顔絵の出来をどう評価するか?—PICASSOシステムのデフォルメ制御—」, 画像ラボ(1992.8)
- [7]S.E.Brennan:「Caricature Generator」, Degree of Master of Science, MIT(Media Lab.)(1982.12)
- [8]H.Koshimizu, K.Murakami, A.Nakayama and T.Fukumura:「Computer generation of facial caricature:PICASSO project—A step toward the description & generation of non-verbal information—」, Proc. of PRICAI'90(Nagoya) (Nov.1990)
- [9]奥水, 村上, 中山, 福村:「PICASSO(ピカソ):似顔絵師システム」, 画像ラボ(1990.9)
- [10]村上, 中山, 奥水, 福村:「似顔絵師システムPICASSO—空間次元における任意角度の顔パターンデータの生成—」, 信学技報PRU91-17, pp.41-48(1991.5)
- [11]村上, 奥水, 中山, 福村:「似顔絵師システムPICASSOについて」, 計測自動制御学会第17回パターン計測部会研究会資料(中京大, 1991.10)
- [12]村上, 奥水, 中山, 福村:「似顔絵師システムPICASSOについて—その生い立ちから現在まで—」, 名古屋大学大型計算機センターニュース, Vol.23, No.3, pp.235-252(1992.8)
- [13]村上, 奥水, 中山, 福村:「似顔絵師システムPICASSOにおける顔データの記述について」, 信学技報PRU92-13, pp.95-101(1992.5)
- [14]村上, 奥水, 中山, 福村:錯視を用いた似顔絵生成システムについて, 情報処理学会MIRU'92シンポジウム論文集pp.II-151-158(札幌市, 1992.7)
- [15]K.Murakami, H.Koshimizu, A.Nakayama and T.Fukumura:「Facial Caricaturing Based on Visual Illusion—A mechanism to evaluate caricature in PICASSO system—」, Proc. of PRICAI'92 (Seoul, 1992.9)
- [16]奥水, 村上, 中山, 福村:「錯視を利用した似顔絵変形の自律的制御について」, 1991年度人工知能学会全国大会15-8, pp.615-618(1991.6)
- [17]奥水, 村上:「似顔絵師システムPICASSOについて」, 日本行動計量学会第19回大会, pp.166-171 (1991.8)
- [18]K.Murakami, H.Koshimizu, A.Nakayama and T.Fukumura:「Facial Caricaturing System PICASSO—An Autonomous Deformation based on Visual Illusions—」, 第1回日韓コンピュータビジョン共同会議 CV'91(Seoul, 1991.10)
- [19]村上, 奥水, 中山, 福村:「錯視現象を利用した似顔絵変形は自律的評価—PICASSOシステムのデフォルメ制御—」, 第22回画像工学コンファレンス論文集, pp.81-84(1991.12, 東京)
- [20]「新たな娯楽分野の創造に挑む」知的エンターテイメント」, 日経AI別冊, pp.82-89 (1991冬)