

インターフェイスのための頭部運動方向検出

北海道大学大学院工学研究科 ○山田貴範 渋川勝久 岸波建史

一要旨一

人の顔や視線の動きは注意や意図と深く関係しており、それらを計算機に認識させることで、より対話的なインターフェイスを実現できると考える。本稿では最終的にそういったユーザー支援型インターフェイスの実現を念頭に置き、そのための人の頭部回転運動方向を検出する方法を提案する。

1. はじめに

現在コンピュータを利用する際に、キーボードやマウスといったインターフェイスが多く利用されている。コンピュータの高性能化、低価格化や一般への普及に従つて、身体の不自由なユーザーなどにとっても負担が少なく、従来のものよりも使い易いインターフェイスが望まれてきている。人の目や顔の動きは注意や意図と深く関係している。そのため、これらを計算機に認識させることで、より直感的な操作が可能なインターフェイスが実現できると考える。顔の動きから得られる情報が多いが、ここでは計算機入力支援の為の、頭部の回転運動によるカーソルポインタの制御を大きな目標として、そのための頭部回転運動方向の検出方法を提案する。本手法では2次元の輝度情報を一次元に落とした比較的データ量の少ない投影曲線を生成することで顔の特徴量を抽出している。連続撮影により得られる画像のうち時系列的に隣り合う投影曲線同士を逐次比較し、シフト量を絶対差分法により計算することで最終的に顔角度変化量を求める。以下に提案手法の各手順及びその有効性の実験による検証の結果をまとめる。

2. 提案手法

2.1 概要

提案手法の概要を図1に示す。

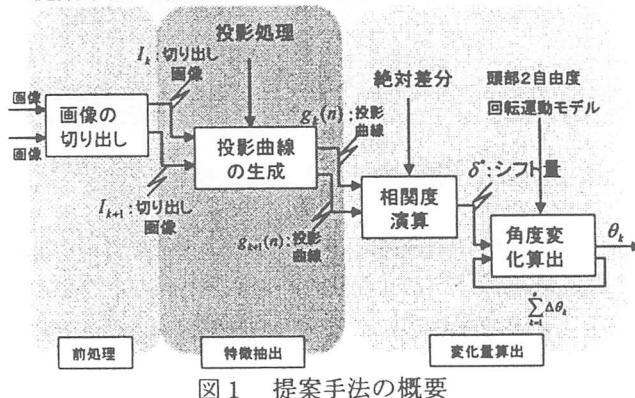


図1 提案手法の概要

提案手法は特徴抽出の精度向上のための前処理、投影曲線による画像の特徴抽出、絶対差分法による抽出特徴量の変化量算出の3段階から成る。ある画像に対し、幾つかの方向から投影を行い、その数が十分であれば再構成が可能である。言い換えれば適当な投影の集合は元の画像と等価である。この考えに基づき、もとの2次元画像のままではうまく抽出することが難しい構造的特徴を、投影曲線から取り出し、変化量を測るというのが本手法である。また、顔の向きが微小変化した前後における投影曲線形状はそれ程変わらない事が確認された。そこで本手法では顔の連続撮影により得られる画像の投

影曲線同士の相関度を絶対差分法により求める事でシフト量を検出する。角度検出に際しては人間の頭部を球形の剛体と考えて、水平軸、垂直軸を回転中心とした頭部2自由度回転モデルを採用している。

2.2 前処理

撮影画像に投影処理を行う際、画像内に背景などが多いと顔の特徴が投影曲線に反映されづらくなる。そこで前処理として入力画像からあらかじめ顔を切り出しておく。また、切り出した画像の輝度差による誤差を減らすため平均輝度を合わせるといった輝度補正を行う。

2.3 画像の投影

本手法では画像の輝度情報を列方向、行方向に投影することで特徴量を抽出している。式(1)に列方向の投影について示す。また実際の顔画像で抽出した列方向投影曲線を図2に示す。

$$g_{kr}(n) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} I_k(n, m) \quad (1)$$

(n, m) : 画像のピクセル座標値

$n = 0, 1, 2, \dots, N-1, m = 0, 1, 2, \dots, M-1$

N : 画像の横方向のピクセル数

M : 画像の縦方向のピクセル数

$I_k(n, m)$: k 番目の画像で (n, m) における輝度値

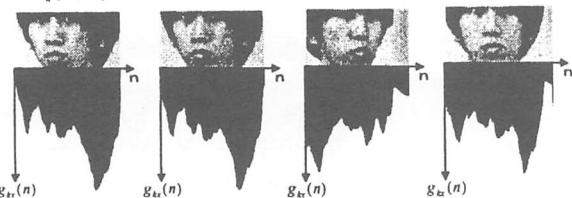


図2 顔の列方向投影曲線

2.4 相関演算

2.3で得られる顔画像の投影曲線は、顔の各部位の特徴を反映しており、顔向きの微小変化における投影曲線同士の形状は近い(図3)。今、 k 番目、 $k+1$ 番目の画像についての列方向投影曲線を各々 $g_k(n)$, $g_{(k+1)r}(n)$ とし、 $g_k(n)$ を δ_r だけシフトした曲線 $g_k(n+\delta_r)$ と $g_{(k+1)r}(n)$ の曲線の相関値 $R_r(\delta)$ を次式を用いて計算し、最小値をマッチングポイントとしてシフト量 δ_r^* を求める。

$$R_r(\delta) = \begin{cases} \frac{1}{N-\delta} \sum_{n=\delta}^{N-1} |g_{(k+1)r}(n) - g_k(n-\delta)| & (\delta > 0) \\ \frac{1}{N+\delta} \sum_{n=0}^{N+\delta-1} |g_{(k+1)r}(n) - g_k(n+\delta)| & (\delta < 0) \end{cases} \quad (2)$$

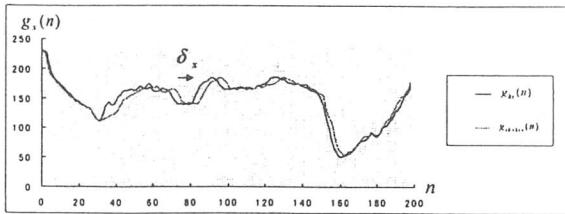


図3 $g_x(n)$ と $g_{(k+1)x}(n)$ の関係

2.5 角度変化検出

2.4で検出された画像の水平方向シフト量は撮像面上におけるシフト量であり、実際の撮影平面における顔のシフト量との関係は図4のようになる。

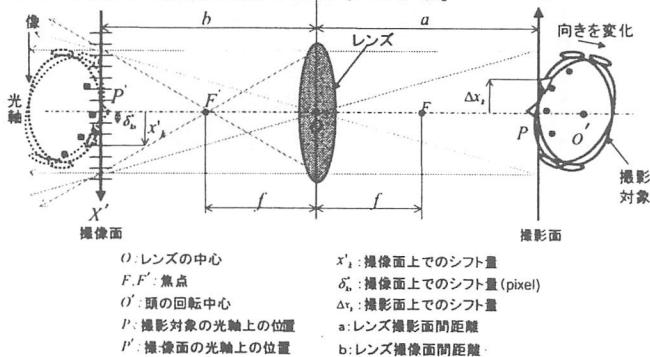


図4 撮影対象と撮像面の位置関係

上の関係より撮像面上でのシフト量と撮影面上での顔のシフト量の関係はレンズの倍率 $s=b/a$ 、撮像素子1画素の幅 d_x をとすると(3)式のように表すことができる。

$$\Delta x_k = \frac{d_x \cdot x'_k}{s} \quad (3)$$

(3)式の関係は垂直方向についても同様に成り立つ。ここで、求められた Δx_k から頭部の回転角度を求める。角度検出に際しては、概要で述べた頭部2自由度運動モデルを用いる。図5に水平方向の頭部回転運動モデルを示す。

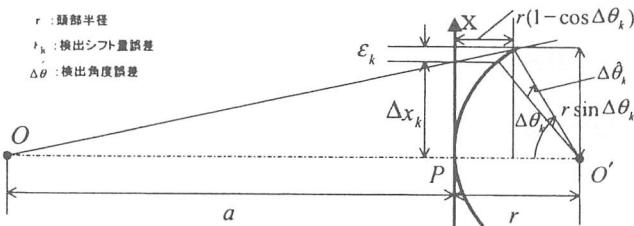


図5 水平方向頭部運動モデル

上の図より、実際の顔を撮影する際誤差 ϵ_k が生じ、そのため $\Delta \theta$ の角度誤差が生じる。頭部の半径に対して撮影面とレンズの距離が十分長いという条件下で撮影を行えば、 $a/r \gg 1$ 近時でき誤差 $\epsilon_k \approx 0$ と置ける。よって角度変化量は(4)式で表すことができる。

$$\Delta \theta_k = \sin^{-1} \frac{\Delta x_k}{r} \quad (4)$$

ここで $\Delta \theta_k$ は $k-1$ 番目の画像と k 番目の画像間より検出された相対的な角度変化量であり、 k 番目の画像が、初めの位置から変化した角度の総計は(5)式より求めるこ

とができる。

$$\theta_K = \sum_{k=1}^{K-1} \Delta \theta_k \quad (5)$$

$k = 1, 2, 3, \dots, K$ (K : 画像の総数)

3. 検証実験

以上の手法を用いて、頭部回転運動を連続撮影して得られた画像から、実際に角度変化を検出できるかの検証実験を行った。実験に使用した入力装置はデジタルカメラ(Canon Eos-D30)である。また角度の検証法として、あらかじめ角度検証用の平面に各角度に対応した点をプロットしておき、被写体頭部にレーザーポインタを取り付け、頭部を動かしていく平面上における点とそのポインタの照準が合った場所で顔画像を撮影する事とした。この方法においては視線の動きに左右されないため純粋に頭部の角度が検出できる。また撮影場所として比較的輝度変化の少ない屋内を選び、水平、垂直方向各々 $-18^\circ \sim +18^\circ$ まで 3° 刻みで顔画像を撮影した。実験によって得られたデータを表1に示す。

表1.1 水平方向角度検出

$\Theta_r (^\circ)$	-18	-15	-12	-9	-6	-3	0	3	6	9	12	15	18
$\delta_x (pixel)$	-29	-25	-31	-29	-33	-18	0	30	23	20	27	17	15
$\Delta \theta_r (^\circ)$	-2.9	-2.7	-3.4	-3.0	-3.6	-2.0	0	3.3	2.5	2.2	2.9	1.9	1.6
$\theta_r (^\circ)$	-17.8	-14.7	-12.0	-8.6	-5.6	-2.0	0	3.3	5.8	8.0	10.9	12.8	14.4

表1.2 垂直方向角度検出

$\Theta_v (^\circ)$	-18	-15	-12	-9	-6	-3	0	3	6	9	12	15	18
$\delta_y (pixel)$	-29	-25	-31	-29	-33	-18	0	30	23	20	27	17	15
$\Delta \theta_v (^\circ)$	-2.9	-2.7	-3.4	-3.0	-3.6	-2.0	0	3.3	2.5	2.2	2.9	1.9	1.6
$\theta_v (^\circ)$	-17.8	-14.7	-12.0	-8.6	-5.6	-2.0	0	3.3	5.8	8.0	10.9	12.8	14.4

Θ_r, Θ_v : 角度検証平面における検証角度

δ_x, δ_y : 撮像面上におけるシフト量

$\Delta \theta_x, \Delta \theta_y$: 検出された顔角度変化量

θ_r, θ_v : 0° からの検出角度積算量

4. 終わりに

本稿では、計算機入力支援の為の、頭部の回転運動によるカーソルポインタの制御を大きな目標として、頭部回転運動方向の検出方法を提案し、検証実験を行った。実験より、回転運動方向の角度変化量を時系列的に隣り合う画像の差分をとることで逐次算出できる事が確認された。

【参考文献】

- [1] 山田貢己: 高速、高精度な顔領域追跡とカーソルポインタへの応用 精密機械工学会春季大会 シンポジウム資料 p99-104
- [2] 長谷川純一: 画像処理の基本技法 技術評論社
- [3] 林健太郎: 頑健性と精密性を備えた顔特徴点追跡による顔方向推定 電子情報通信学会 D-II Vol.J84-D-II No.8 pp1762-1771 2001/8
- [4] 福井和宏 山口修: 形状抽出とパターン照合の組み合わせによる顔特徴点抽出 電子情報通信学会 D-II Vol.J04-D-II No.8 pp2170-2177 1997/8