

顔領域での高分解オプティカルフローに基づいた並進移動と収縮テンソルのモデル化とその表情推定への適用

ヤン スンハ[†] 安藤 繁[‡]

東京大学^{†‡}

1. はじめに

表情は人間が自分の感情を表現する一番効果的かつ直感的な表現方法であり、言葉よりも早く感情を伝えることができる。過去数十年間、機械に人間の感情を理解させようという努力が続いてきた。

ここでは、顔領域で検出されるオプティカルフローの分布から並進移動と収縮テンソルをモデル化する方法を紹介し、構築したモデルを表情推定への適用する方法について述べる。オプティカルフローの検出の際には、特に時間相関イメージセンサ[1]を用いて画素ごとの高分解オプティカルフローを検出する。

オプティカルフローとは、動きのある対象をイメージセンサで撮像したときに生じる明暗の速度ベクトルである。従来のオプティカルフローは時間軸の微分を計算するために2つ以上のフレームを用いるが、時間相関イメージセンサを用いると単一フレームで単一画素ごとの最大の時空間密度を有するオプティカルフロー場が得られる[2]。

時間相関イメージセンサは、全画素に共通に入力される参照信号と光強度信号との時間相関を出力とするイメージセンサである。その特徴は、

1. 通常のイメージセンサでは利用できない高周波振幅と位相の2自由度に情報を載せることが可能
2. 相関演算によりビデオレートに情報を圧縮するので情報量の爆発を防げる
3. 時間相関を取ることから原理的に外乱光による影響を受けない
などがあげられる。

2. 原理

2.1 時間相関イメージセンサ

時間相関イメージセンサは、明暗が変わる光に関して相関検出やロックイン検出と呼ばれる操作を二次元並列に行う半導体集積装置である。時間相関イメージセンサでは、光キャリアを蓄える蓄積するコンデンサは1画素に複数あり、それらに光キャリアを参照信号に比例した分配比により分配して蓄える。特に参照信号として位相が互いに $2\pi/3$ 異なる三相正弦波を用いると、これらと光強度入力信号との相関により、画素には相関値

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \end{bmatrix} &= \left\langle f(t) \cdot \begin{bmatrix} \cos(\omega t) \\ \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\omega t + \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} \right\rangle + \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \end{bmatrix} \\ &= \frac{A}{2} \begin{bmatrix} \cos\phi \\ \cos(\phi - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\phi - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \end{bmatrix} \quad (1) \end{aligned}$$

が得られる。ここで $(\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3)$ はセンサーノイズである。そこで、誤差の二重ノルムを最小化するような振幅 A と位相 ϕ はそれぞれ相関画像の明暗と色に対応する。

$$\begin{aligned} A &= \frac{2}{3} \sqrt{(2g_1 - g_2 - g_3)^2 + 3(g_2 - g_3)^2} \\ \phi &= \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3}(g_2 - g_3)}{2g_1 - g_2 - g_3} \right) \quad (2) \end{aligned}$$

2.2 高分解オプティカルフロー

通常のイメージセンサの強度出力は、コンデンサに蓄積されたキャリアの総量を1フレーム時間 T の積分として

$$g_0(x, y) = \int_{-T/2}^{T/2} f(x, y, t) dt \quad (3)$$

と表される。ところが、複素正弦波を参照信号入力とした時間相関イメージセンサにおいては、周波数 ω の正弦波を参照信号として与えることにより、相関画像

Modeling of translational motion and contracting tensor of facial region using high-resolution optical flow and a simple application of facial expression estimation.

[†] Seungha Yang, The University of Tokyo

[‡] Shigeru Ando, The University of Tokyo

$$g_0(x, y) = \int_{-T/2}^{T/2} f(x, y, t) e^{-j\omega t} dt \quad (4)$$

が得られる．これは実部と虚部で 2 枚分の自由度を有し，オプティカルフローの厳密対数解法の情報源となる．即ち，強度画像と相関画像との間に

$$\vec{v} \cdot \nabla \{(-1)^n g_0(x, y) - g(x, y)\} = j\omega g(x, y) \quad (5)$$

の関係が成り立ち， (v_x, v_y) は未知数 2 個のため，1 画素と 1 フレームのみで着目点の運動速度が検出できる．

2.3 顔領域の動的モデル

表情が変動する時，顔領域を幾つか小さい領域に分割すると，ある領域において検出されるオプティカルフロー分布のパターンには主に並進移動と収縮のパターンが存在する．任意の領域 i においての x 軸と y 軸方向の並進移動はオプティカルフローの面積積分として考えられる．しかし，ここではフレームの時間情報を扱うのは非常に難しいため，時間の積分をとって以下のように表す．

$$m_{xi} = \frac{1}{T} \frac{1}{S_i} \sum_{0 \leq t \leq T} \sum u_{i,t}(x, y)$$

$$m_{yi} = \frac{1}{T} \frac{1}{S_i} \sum_{0 \leq t \leq T} \sum v_{i,t}(x, y) \quad (6)$$

次に，顔表面から検出されるオプティカルフロー分布の収縮パターンを表現するために歪みテンソルを用いる．

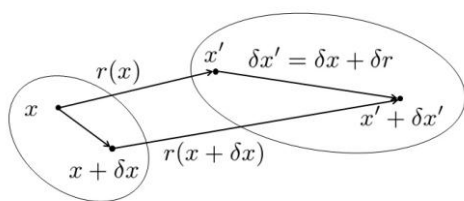


Fig. 1 歪みテンソル

局所領域に含まれる 2 点 x と $x + \delta x$ の変形を考える ($|\delta x| \ll 1$)．二点間の位置ベクトルの差の微分を考え，テンソルを以下のように定義する．

$$\delta r(x) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial r_i}{\partial x_j} + \frac{\partial r_j}{\partial x_i} \right) \delta x_j + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial r_i}{\partial x_j} - \frac{\partial r_j}{\partial x_i} \right) \delta x_j \quad (7)$$

ここで，右辺の第 1 項を歪みテンソルといい，2 次元の場合，以下のように表現できる．

$$\epsilon_{ij} = \begin{bmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} \end{bmatrix} \quad (8)$$

ここで，対角成分はそれぞれ x 軸と y 軸の発散を意味する．本研究では，これらの対角成分を収縮テンソルと呼ぶ．

3. 実験結果

並進移動と収縮テンソルのモデルを実際に顔表面のオプティカルフローに適用した．実験データとして表情の変化サイクルが 1 回であるイメージ系列を用いた．データをとる時，頭の姿勢が動かないように注意した．両眼の中心と鼻の頂点を特徴点として手動設定した上に，三点の位置関係から顔領域を小さい領域 M_{ij} に分割した ($1 \leq i \leq 7, 1 \leq j \leq 11$)．

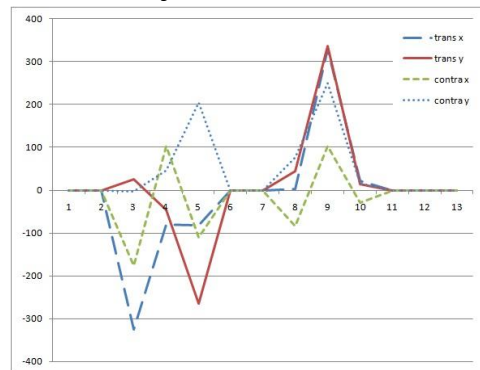


Fig. 2 領域 $M(2, 6)$ での並進移動量と収縮量

得られた特徴量を用いて主成分分析 (PCA) を行い，表情の変化との相関が強い成分を推定した．

4. まとめ・考察

本研究では，時間相関イメージセンサを用いて検出した顔領域の高分解オプティカルフロー分布から並進移動と収縮テンソルのモデル化を行った．さらに，顔の領域を分割し，各分割領域ごとに並進移動量と収縮量を計算した．並進移動量と収縮量は顔表面の動きを良く表現している特徴量であるため，この特徴量を用いて主成分分析 (PCA) を行い，表情変化との相関が強い成分を推定した．

5. 参考文献

- [1] S.Ando and A.Kimachi, “Correlation Image Sensor: Two-Dimensional Matched Detection of Amplitude-Modulated Light,” IEEE Trans. Electron Devices, vol. 50, no. 10, pp. 2059–2066, 2003.
- [2] 魏大比, P.Masurel, 栗原 徹, 安藤 繁, “複素正弦波変調撮像によるオプティカルフロー検出理論および時間相関イメージセンサによる実現,” 情報処理学会 CVIM 論文誌, vol. 49, no. 6, pp. 1044–1051, 2007.