

平成 13 年度

学士学位論文

高知工科大学工学部情報システム工学科

オプティカルフローによる手話の表情認識

Recognition of the face expression of the sign language
by optical flow

1020312 西山彰則

指導教員 岡田守

2002 年 2 月 8 日

岡田研究室

高知工科大学 情報システム工学科

要旨

オプティカルフローによる顔表情の解析

人間のコミュニケーションにおいて、顔表情というものはかなり多くの比重を占めている。特に手話を使用する方々にとっては、一般的な言葉を使用する人々よりも、その比重が多くなる。

手話は手の動きだけではなく、顔の表情の変化に伴って意味が変化する割合が、言葉の会話よりも非常に大きいのだ。手話における顔表情というものは、言葉の抑揚や大小などと同じような意味をなすのである。

手話をコンピュータを用いて認識する際に、手の動きとともに、感情を認識し、その二つを考慮し手話を認識することができれば、健聴者と聴覚障害者との密なコミュニケーションの手段となりうる。

そこで、本研究では、そのようなコミュニケーションを実現するために、顔画像からオプティカルフローを用いて、表情解析を行うことを目標としている。

キーワード

オプティカルフロー、FACS、n pixel、顔表情

Abstract

Recognition of the face expression of the sign language by the optical flow

The thing of the face expression occupies very many parts in the human communication. That specific gravity increases for the people who specially use sign language more than the people who use a general word.

The rate of the sign language that meaning changes is much bigger caused by not only the movement of the hand but also the change in the expression of the face than the conversation of the word. The thing of the face expression in the sign language has the meaning which is the same as the intonation of the word, the size, and so on.

It can become the means of the close communication with a person with a normal, person, and the auditory handicapped person if an emotion is recognized with the movement of the hand and those two are taken into consideration and sign language can be recognized when sign language is recognized by using the computer.

So, optical flow is used from the face image, and the matter that an expression analysis is done is being made a goal by this research to realize such a communication.

key words

optical flow、FACS、n pixel、expression of the face

目次

1 背景	7
2 研究の目的	8
3 研究を行う理由	9
4 国内外の研究状況	10
5 オプティカルフロー	11
5.1 マッチング法	12
5.2 グラディエント法	12
5.3 本研究で用いる検出法	13
6 FACS (Face Action Coding System)	14
6.1 FACS について	14
6.2 AU (Action Unit)	14
7 実験方法	16
7.1 顔表情の撮影	16
7.2 キャプチャー	17
7.3 オプティカルフローの検出	17
7.4 画像の貼り付け	18
7.5 画像の分割	18
7.6 オプティカルフローの比較	19
8 まとめ	20
8.1 実験結果	20

8.2 検討結果.....	26
8.3 考察.....	27
9 今後の課題.....	29
謝辞.....	30
参考文献.....	31

図目次

6.1	FACS の AU の一覧表.....	15
8.1	自然な表情（標準顔）.....	19
8.2	笑顔の一つのパターン.....	20
8.3	2pixel で検出したオブティカルフロー(1).....	20
8.4	2pixel で検出したオブティカルフロー(2).....	20
8.5	2pixel で検出したオブティカルフロー(3).....	21
8.6	5 pixel で検出したオブティカルフロー(1).....	21
8.7	5 pixel で検出したオブティカルフロー(2).....	21
8.8	5 pixel で検出したオブティカルフロー(3).....	21
8.9	10 pixel で検出したオブティカルフロー(1).....	22
8.10	10 pixel で検出したオブティカルフロー(2).....	22
8.11	10 pixel で検出したオブティカルフロー(3).....	22
8.12	15 pixel で検出したオブティカルフロー(1).....	22
8.13	15 pixel で検出したオブティカルフロー(2).....	23
8.14	15 pixel で検出したオブティカルフロー(3).....	23
8.15	20 pixel で検出したオブティカルフロー(1).....	23
8.16	20 pixel で検出したオブティカルフロー(2).....	23
8.17	20 pixel で検出したオブティカルフロー(3).....	24
8.18	10 pixel で検出したオブティカルフローと元の笑顔.....	24
8.19	10 pixel で検出したオブティカルフローと元の笑顔.....	25
8.20	10 pixel で検出したオブティカルフローと元の笑顔.....	25
8.21	上部のオブティカルフロー.....	25
8.22	中部のオブティカルフロー.....	26
8.23	下部のオブティカルフロー.....	26
8.24	検討結果一覧.....	27

1 背景

現在、日本の聴覚障害者は厚生省が決めた基準の 70dB 以上で約 36 万人、欧米並みに 40dB 以上の軽度難聴者を含めると約 600 万人いるといわれている。聴覚障害者は増え続けており、2010 年には軽度難聴者を含めて、一説では 800 万人になるとも言われている。日本の全人口の 5%にもなるというのに、健常者と聴覚障害者との間で、親密なコミュニケーションを取る手段がほとんどない。あるといえば、筆談や、ジェスチャーなどに限られる。しかし、それらは親密なコミュニケーションとは言えない。

親密なコミュニケーションとは、何か。感情の入ったコミュニケーションだと考える。健聴者と聴覚障害者との間のコミュニケーションに感情を入れることが大きな課題となる。

健聴者と聴覚障害者間でのコミュニケーションの手段として考えられるのが、コンピュータを使つての手話の認識である。手話というと、手の動きに一番目が行くのだが、手の動きだけでは感情を会話の中に入れることはできない。言葉で会話をするときに感情が入っているのと同じように、手話には、感情が入っている。それが言葉の強弱や抑揚であるか、顔の表情だったりするかの違いである。手話を認識するためには、感情を認識することが非常に重要になってくる。感情を認識しないまま手話を理解しようとしたら普通の筆談となんら変わらない。それに、手話において感情の占める割合は、言葉での会話よりも多い。手話は手の動きだけで表すのではなく、表情と一緒に始めて意味をなすものであるからだ。よって、本研究では感情をいかに認識するかを研究する。

2 研究の目的

コンピュータで顔表情を認識する際には、多くの問題点がある。感情を認識する際に、どのような手法を用いて行うか、感情の種類を基本 6 感情¹からどのくらいの幅を持たせる、もしくは基本 6 感情のみで行う。

ほかにも、個人間での顔の相違に対して、どのように取り組むか、感情を認識した際に、どのような形のデータとして送り出し、それをどのように活用するのか。リアルタイムに感情を認識することが出来なければ、手話の認識に使用することが難しくなるので、タイムラグなく感情を認識することが出来るか。手話も感情もうまく認識できたとして、その後、どのように、それらのデータを活用し、どのように、表現して密なコミュニケーションの手段とするか。

それらの多くの問題点の中で、本研究では、感情を認識する際の手法の確立を行っていく。

¹ 怒り(angry)、嫌悪(disgust)、恐怖(fear)、幸福(happiness)、悲しみ(sadness)、驚き(surprise)の 6 種類の感情で、人種や文化、性別などに関係なく万国共通の感情である。これらを組み合わせることで、複雑な表情になる。

3 研究を行う理由

従来、画像認識には、パターンマッチング法が主に使われてきた。しかし、パターンマッチング法は、静止画における処理に用いられていたため、動画像で用いるためには、動画像の連続入力専用の画像プロセッサ（大容量画像メモリを持つリアルマシン）と膨大な動画像データをハンドリング出来る大型汎用計算機やワークステーション（仮想記憶マシン）との組み合わせが前提となってしまう。

本研究では、健聴者と聴覚障害者との間での密なコミュニケーションの手段として考えているため、パターンマッチング法を使用することは出来ない。

そこで、動画像から顔の動きを検出して、そのデータから感情を検出することを考えて、その動きを検出する方法として、オプティカルフローがある。オプティカルフローは

- (1) 特に標準画を必要としない。
- (2) 特徴点の抽出が不要である。

という利点がある。

このため、顔画像の動きを検出できることが期待することが出来る。

本研究では、オプティカルフローを使用して、顔表情の変化に伴う表情筋の動きを検出し、感情の認識を行っていく。

4 国内における研究状況

NTT ヒューマンインターフェース研究所マルチメディア処理研究部の間瀬による「動画像処理を用いた新しいマシンインターフェースの研究」という論文を発表している。この中で、フェイスリーダを構築した、顔が伝えるメッセージの中で、個人情報について重要な、表情による感情などの感性やイメージの抽出を可能にする手法を導出している。この研究においては、オプティカルフローを使用して85%の確率で感情を認識することに成功している。しかし、頭部の揺れによって、出るノイズなどにまだ課題が残っている。他に、この感情を認識してそれを使用するデバイスがないので、出力も課題となっている。

5 オプティカルフロー

静止した外界を、光軸に垂直に一定速度で並進運動するカメラが撮影した動画像を見ると、画像中の物体による濃淡パターンの移動方向はすべて同一であるが、遠くにある物体ほどゆっくりと、近くにあるものほど早く動いていることがわかる。すなわち、検出された物体の見かけの速度の大きさが、3 次元空間中での物体のカメラからの奥行きに関する情報を与える。このときに見かけの速度ベクトルがオプティカルフローである。

画像全体でオプティカルフローを求めることで奥行き画像（距離画像、range image、depth image）が得られる。このようにして奥行き分布を求める手法を、運動立体視（motion stereo）と呼んでいる。奥行き画像が求めれば、画像に映っている物体の 3 次元空間中での位置、姿勢や形状に関する情報を求めること（3 次元認識）も可能となる。

以上のように、オプティカルフローは多くの可能性を秘めているため、動画像から高速・高精度でオプティカルフロー（見かけの速度場）が検出可能なアルゴリズムを確立することがコンピュータビジョンの分野がもちろん、動画像からの物理計測を必要とする科学、技術のさまざまな分野において望まれている。

そのオプティカルフローを検出する方法はさまざまな方法がある。代表的なオプティカルフロー検出方法は、マッチング法(matching method)、グラディエント法(gradient-based method)およびその他の手法に大別される。

以下に、分類法を詳しく記すのだが、これらの分類法に対して、信頼できるオプティカルフローの情報は画像の濃淡の強度分布から得られるとする考え方(intensity-based approach)と、動画像中の特徴（輪郭）から得られるとする考え方の 2 通りが知られている。

しかし、いずれの手法も、精度があまり高いものとは言えず、高精度の手法の開発が望まれている。

以下に記した 2 つのオプティカルフロー検出法のいずれにおいても、こうした 2 通りの見方が可能である。

5.1 マッチング法

オプティカルフロー検出の代表的な手法の一つであるマッチング法についてここで挙げることにする。

連続する画像フレーム間において、濃淡パターンのような対応付けを実行し、得られる変位ベクトルからオプティカルフローを決定する手法をマッチング法と呼ぶ。

通常、適当なサイズのテンプレート（参照パターン）を用い、空間相互相関等の解析法により対応付けを行う(template matching)。

通常、動画像中の 2 枚の画像を対象とする。一方の画像内の特徴点(feature point)を含む小領域をテンプレートに選び、もう一方の画像の対応する小領域を空間相互相関解析などを用いて類似度を評価し、特徴点の対応を取る。この場合、ミスマッチの問題や、得られるオプティカルフローの密度が低い（画像内での特徴点の数が限られているため）ことが問題点としてあげられている。

5.2 グラディエント法

マッチング法と並び、オプティカルフロー検出法の代表的なもののグラディエント法である。

パターンの特徴を現す画像関数（濃淡分布）が、運動に際し普遍の保たれるとの仮定より、ある点におけるオプティカルフローの速度と、動画像の濃淡分布の空間勾配および時間勾配とを関係付ける式（拘束条件）をもとにした解析手法をグラディエント法と呼ぶ。

マッチング法と同様に運動物体追跡の立場に立ち、動画像の任意の画素における濃淡値の時間勾配と、空間勾配の間に一定の関係があることを用いる

手法である。この場合、rigid で時間空間的に滑らかな画像関数の存在を前提としており、現実の画像解析への適用が困難なことが挙げられている。

5.3 本研究で用いる方法

本研究ではブロック間のパターンマッチングに基づいてオプティカルフローを決定する。これは、最も簡単かつ直感的に理解しやすい方法である対応点決定によってオプティカルフローを求める方法である。

しかし、ブロック状のテンプレートの大きさ、探索範囲の大きさにも依存するが、本研究では、オプティカルフローを使用できるかどうかを実験するため、ここでは、理解をしやすいオプティカルフロー検出法・マッチング法を使用することとする。

6 FACS

6.1 FACS について

表情を認識、あるいは分析する研究は、人間が行う勘定の表出の起源を探ろうとした Charles Darwin の研究以来 100 年以上もの長い歴史がある。近年 Ekman と Friesen は感情の表出に関連した顔面の動きを測定して記述する目的で、表情をコードとして表現する FACS (Face Action Coding System) 【Ekman and Friesen、1978】¹[4]を作成した。これは、現在、心理学や臨床など多方面で使われているが、顔面筋の位置を考慮した、長年の心理学的な実験や調査に基づく表情の記述として、1 つのまとまった体系を持っているため、最近コンピュータグラフィックスなどの工学的な分野でも利用されつつある。

6.2 AU (Action Unit)

FACS では、表情はアクションユニット (Action Unit、AU) と呼ばれる 60 個の表情単位の組み合わせで記述される。

これらを使用して顔の画像を調べて、どの AU が使われているかを判断し、表情を複数の AU で記述することになる。

AU は、図 2. 1 に記す。

¹ FACS のようなものを作るという努力は以前からなされていて、似たようなものとして Izard [Izard、1979] による MAX というシステムも存在する。

顔の上部	顔の下部	その他の動作	顔と目の位置
1-眉の内側を上げる	9-鼻にしわを寄せる	8-唇同士を接近させ	51-左を向く
2-眉の外側を上げる	10-上唇を上げる	19-舌を見せる	52-右を向く
4-眉を下げる	11-鼻唇溝を深める	21-首を緊張させる	53-頭を上げる
5-上脣を上げる	12-唇端を引っ張りあげる	29-下顎を突き出す	54-頭を下げる
6-脣を緊張させる	13-唇端を鋭く上げて頬を膨らます	30-下顎を外へずらす	55-左へ傾ける
41-脣を力なく下げる	14-えくぼを作る	31-歯をくいしばる	56-右へ傾ける
42-薄目	15-唇端を下げる	32-唇を噛む	57-前へ出す
43-脣を閉じる	16-下唇を下げる	33-息を吹きかける	58-後ろへ引く
44-細目	17-下唇を上げる	34-頬を息で膨らます	61-左を見る
45-まばたく	18-唇をすぼめる	35-頬を吸い込む	62-右を見る
46-ウインクする	20-唇を横に引張る	36-舌で頬や唇を膨らます	63-上を見る
70-眉が見えない	22-唇を突き出す	37-舌で唇をなめる	64-舌を見る
71-目が見えない	23-唇を固く閉じる	38-鼻孔を開く	65-斜視
	24-唇を押さえつける	39-鼻孔を狭める	66-内斜視
	25-唇を開く（顎は下げない）		
	26-顎を下げて唇を開く		
	27-口を大きく開く		
	28-唇を噛む（吸い込む）		

図 6. 1 FACS のアクションユニットの一覧

7 実験方法

実験を行うに際して、以下のような機器、ソフトウェアを使用することとした。

- 日立製作所 DVD ビデオカメラ V100
- SONY パーソナルコンピュータ PCV-RX60KV7
- 画像処理ソフト（フリーソフト）Irfan View
- キャプチャーソフト（フリーソフト）Cap Player version 1.01

なお、オプティカルフローを検出する際には、岡田研究室の原大祐氏の作成した、C言語を用いて作られたパターンマッチングによるオプティカルフローの検出プログラムを使用した。

本実験は以下の順で行う。

7.1 顔表情の撮影

まず、撮影を行う。撮影は、固定したカメラで顔を中心とした画像を撮影する。撮影する人物は、20 歳代前半の男性とした。

今回は、蛍光灯の下で撮影を行った。スポットライトの下などという特別な状況で撮影を行うと光の乱射なども少なくなり、好条件でオプティカルフローを検出できるものと思われるが、これは、健聴者と聴覚障害者の密なコミュニケーションの手段として扱うという大前提があるため、ここでは、

一般的な蛍光灯の下で撮影を行うこととする。

先に、自然な表情から撮り始める。ここで言う自然な表情とは、感情を特に込めていない表情とする。その自然な表情をした後、何秒後かに、笑顔へと変化させる。笑うという感情にも幾通りの種類があるが、本実験では、辞書で調べると「にこにこ笑った顔。笑みを浮かべる。」とあるので、笑顔へ変化する際のオプティカルフローのベクトルを検出しやすくするために、笑顔とは、にこにこ笑った顔を極端に表した。

7.2 キャプチャー

撮影した映像をコンピュータに取り込む。取り込んだ後に、無作為に、自然な表情の場合の画像を 1 枚、笑顔の場合の表情の画像を 3 枚、静止画として取り出す。

これは、自然な表情からの変化を検出するため、この画像を標準顔とし、オプティカルフローを検出する。笑顔を 3 枚用意するのは、1 通りのパターンだけではなく、笑顔が微妙に変化している画像を用いて、笑顔のオプティカルフローとして基準となるものを検出するためである。

7.3 オプティカルフローの検出

取り出した静止画を使用して、オプティカルフローを検出する。オプティカルフローは、標準顔と決めた画像と笑顔の画像で検出していく。検出方法

は、上で挙げたパターンマッチング法を用いる。検出は、2pixel から 20pixel まででそれぞれ検出する。

ここで挙げる n pixel とは、オプティカルフローを検出する際に輝度の変化を調べる際の、一つあたりの範囲の大きさである。

7.4 画像の貼り付け

オプティカルフローを検出すると、オプティカルフローだけが載った画像が出来る。それと、オプティカルフローを検出する際に用いた笑顔の場合の画像を二つの画像がわかるように、二つを張り合わせる。そうすることで、表情の変化とオプティカルフローの結果をわかりやすくすることが出来る。

7.5 画像の分割

作成した画像をもとに、画像を 3 分割する。等分割するのではなく、顔の部分に沿って、上部、中部、下部として、分割する。上部は、眉と額の部分とし、中部は、目と鼻の部分、下部は、口と頬の部分とする。

顔の表情筋の影響範囲・運動範囲によって互いに独立した動作を可能にすると、3 分割することができる。これは、個々のパーツごとに動きを比較したほうが、安易に動きを検出できると考えたためである。他にも、3 領域の表情の変化で感情を表すことが出来るので、これらを分割することにした。

7.6 オプティカルフローの比較

ここまでに、3分割された画像が出来上がり、その画像に検出されたオプティカルフローを比較検討する。

8 結果

8.1 実験結果

上記した通りの方法を用いて実験を行った。本研究では、オプティカルフローを 2pixel から 20pixel までの大きさの中で、検出を行った。Pixel が小さければ小さいほど、一つ辺りのオプティカルフローを検出する範囲が小さくなって、細かいオプティカルフローを多数得る事が出来る。しかし、それは、詳しい結果を得られるということとともに、あまりに複雑にオプティカルフローのベクトルが検出され、画像自体を見ることが出来なくなってしまう。

実験は、以下のような標準顔（図 3. 1）と笑顔（図 3. 2）の 2 つの画像からオプティカルフローを検出していった。

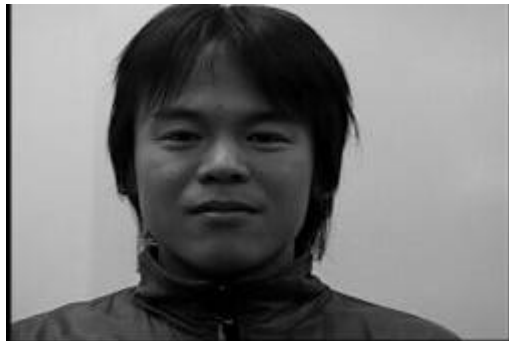


図 8.1 自然な表情（標準顔）



図 8.2 笑顔の一つの画像

下に挙げた画像は、ある一つの笑顔と標準顔とのオプティカルフローを検出する際の pixel 数を、それぞれ 2pixel (図 3.3)、5pixel (図 3.4)、10pixel (図 3.5)、15pixel (図 3.6)、20pixel (図 3.7) として検出した画像である。



図 8.3 2pixel で検出したオプティカルフロー(1)



図 8.4 2pixel で検出したオプティカルフロー(2)

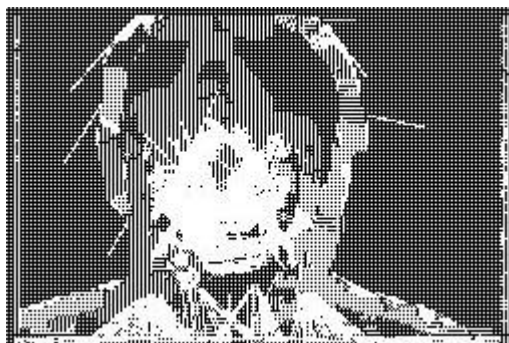


図 8.5 2pixel で検出したオプティカルフロー(3)

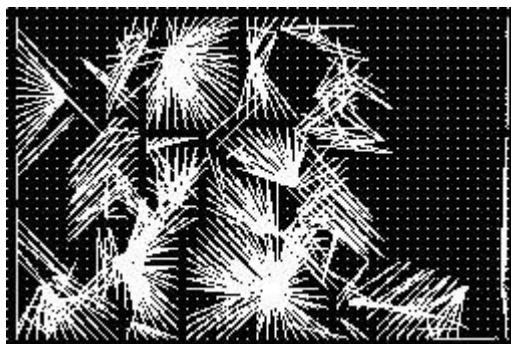


図 8.6 5 pixel で検出したオプティカルフロー(1)

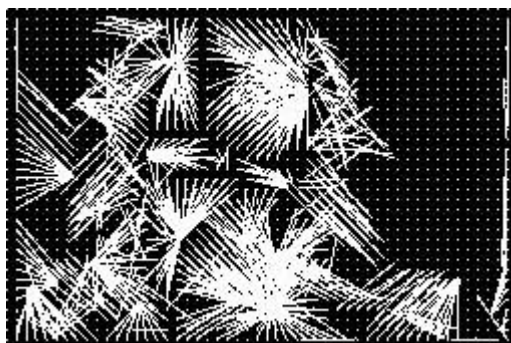


図 8.7 5 pixel で検出したオプティカルフロー(2)

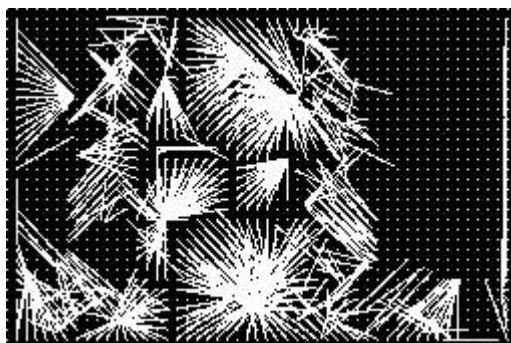


図 8.8 5 pixel で検出したオプティカルフロー(3)

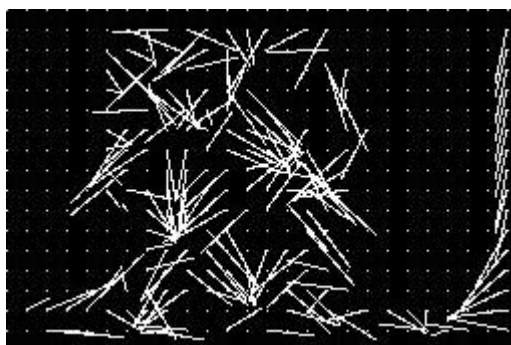


図 8.9 10 pixel で検出したオプティカルフロー(1)

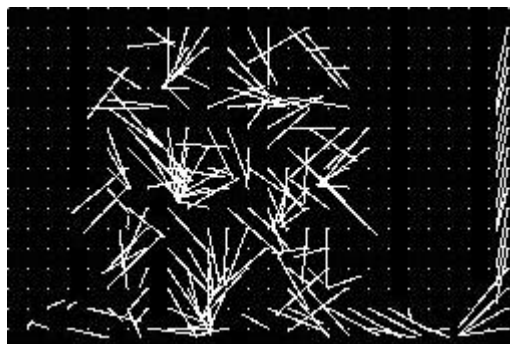


図 8.10 10pixel で検出したオプティカルフロー(2)

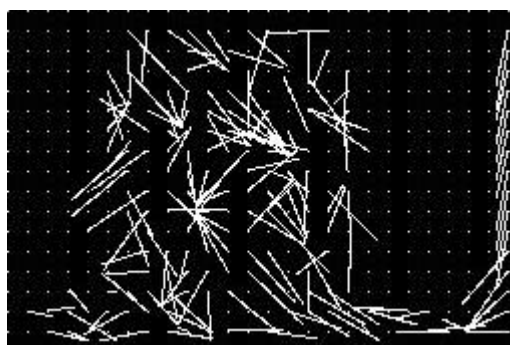


図 8.11 10pixel で検出したオプティカルフロー(3)

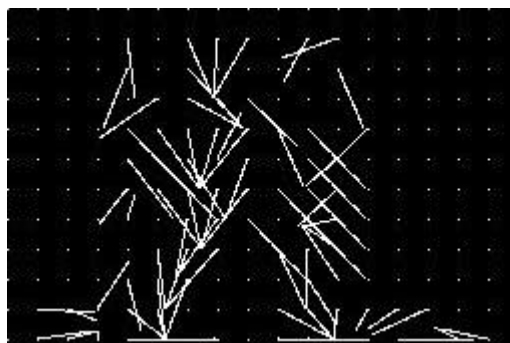


図 8.12 15 pixel で検出したオプティカルフロー(1)



図 8.13 15 pixel で検出したオプティカルフロー(2)

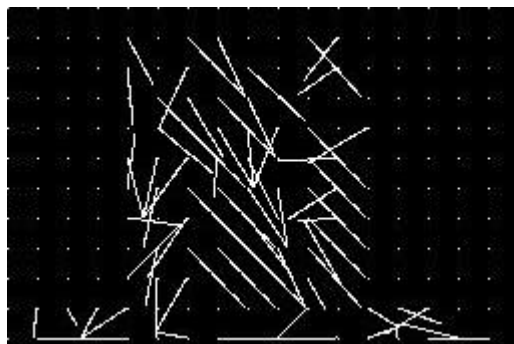


図 8.14 15 pixel で検出したオプティカルフロー(3)

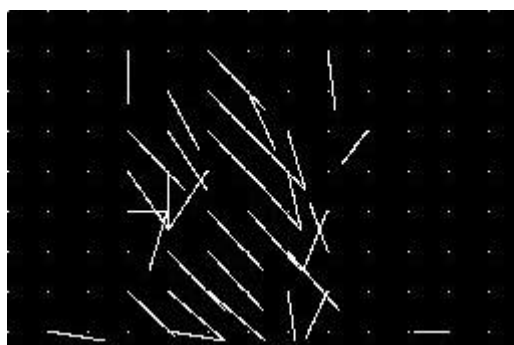


図 8.15 20 pixel で検出したオプティカルフロー(1)



図 8.16 15 pixel で検出したオプティカルフロー(2)



図 8.17 15 pixel で検出したオプティカルフロー(3)

オプティカルフローの動きから、感情を認識する際には、ベクトルの動きは詳しく認識しなければならない。かといって、ベクトルの個々の動きを認識できないほど、乱立してもいけない。

よって、その相反する条件を考慮して、ベクトルの個々の動きを認識する事もでき、詳しいベクトルが出てくる 10pixel を採用することにした。

10pixel で検出したオプティカルフローを使用した笑顔の画像と貼り合わせ、その画像を 3 分割した。それらを検討していった。

以下に記した図 3.8、図 3.9、図 3.10 は、10pixel で検出したオプティカルフローを使用した笑顔の画像に貼り付け、わかりやすくしたものである。



図 8.18 10pixel で検出したオプティカルフローと元の笑顔（１）

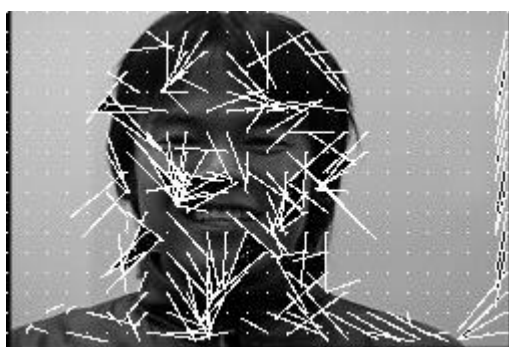


図 8.19 10pixel で検出したオプティカルフローと元の笑顔（２）

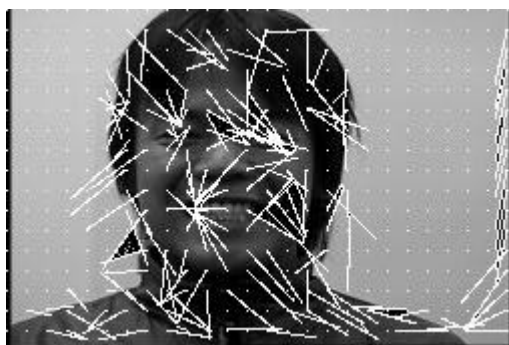


図 8.20 10pixel で検出したオプティカルフローと元の笑顔（３）

そして、これらのようなオプティカルフローのベクトルの出ている画像を 3 分割した。その 3 分割した画像が図 3.11、図 3.12、図 3.13 である。



図 8.21 上部のオプティカルフロー



図 8.22 中部のオプティカルフロー



図 8.23 下部のオプティカルフロー

8.2 検討結果

3 分割した画像を、それぞれの部位で検討した結果が次の図である。笑顔の表情の変化に伴う顔の動きを次の表にまとめた。

顔の上部(眉と額)	笑顔に変化した際に、眉の中央部が上に上がるというしぐさがあるのだが、それを認識することが出来る場合と出来ない場合があった。その眉の動きに伴って、額が狭くなっている事も認識する事は出来なかった。
顔の中部(目と鼻)	目が細目に変化をするのだが、その動きを検出できていない。しかし、その動きに伴って目尻が横に動く事は、検出する事が出来た。
顔の下部(口と頬)	笑顔に変化した際に、口が大きく開く。しかし、その動きは検出が出来ていない。しかし、その動きで頬が上に動くという動きは検出する事が出来た。

図 8.24

8.3 考察

検討結果をもとに考察を行った。

顔の動きをオプティカルフローを用いて認識するのであるが、今回 10pixel で行い、顔の動きを検出するに当たって、動きを検出できるものと出来ないものがあることがわかった。これは、10pixel という値であったため、顔の動きのベクトルを検出する事が難しかったことがいえる。

検出したい動作の全てを認識するには、pixel 数を減らして多くのベクトルを検知しなければならない。しかし、多くのベクトルが乱立し、個々のベクトルを読めなくなってしまう。

オプティカルフローで検出したベクトルは、顔表情の動きだけではない。ノイズが多くを占めている。このノイズを減らすことが出来れば、pixel 数を減らしてもオプティカルフローを検出できるのではないかと考えられる。

本研究における実験では、蛍光灯のもとで撮影を行ったため、光のノイズが非常に多く含まれている。このノイズを除去する必要がある。他にも、ノイズの要因としては、顔のわずかなぶれなども考えられる。これらのノイズを減少させることができれば、顔表情の変化も読み取りやすくなるのではないかと考えられる。

9 今後の課題

実験結果から考えられる今後の課題は、先ほども挙げた通り、ノイズを減少させ、画像を鮮明化させ、より低い pixel 数でオプティカルフローの検出を行い、ベクトルの動きを検出することが課題となる。

他にも、今回の本研究では行っていないが、健聴者と聴覚障害者との密なコミュニケーション手段となるのであれば、リアルタイム性が非常に重要になる。タイムラグがおきると、それがコミュニケーションの妨げとなるからだ。本研究で行ったオプティカルフローの検出方法では、オプティカルフローの仕組みがわかりやすいように、パターンマッチング法を用いたため、演算時間を度外視した。これでは、リアルタイム性を求めることは困難なため、他の検出方法を用いて、実験および、検討を行わなければならない。これらも今後の課題となる。

謝辞

本研究は、主査である高知工科大学情報システム工学科岡田守教授、副査の篠森敬三助教授、福本昌弘助教授方の丁寧かつ親切なご指導と励ましの元に完成いたしました。深くお礼を申し上げ感謝の言葉とさせていただきたいと、思います。

遅々として進まない本研究の進展を温かく見守り、議論に加わってくださった同じ岡田研究室の 4 年生である、原大祐氏、竹田智史氏には、深く感謝いたしております。特に原大祐氏には、実験に必要なプログラムの製作を作成して頂き、申し訳なく感じております。

また、秋田正氏、麻生太郎氏、鎌倉崇之氏、田畑博紀氏には、本研究における実験のご協力いただいたことを感謝します。

最後に、両親や家族の愛情と理解、協力に深く心から感謝します。

参考文献

- [1]三池秀敏、古賀和利＝編 著、橋本甚、百田正広、野村厚志＝共 著、“パソコンによる動画像処理 ”、森北出版株式会社、p.p133-p.p178
- [2]Harlan Lane＝編、石村多門＝訳、“ 聾の経験 18 世紀における手話の「発見」 ”、東京電機大学出版局、20,Oct 2000
- [3]安居院猛、長尾智晴、“ C 言語による画像処理入門 ” 株式会社昭晃堂、20, Nov 2000
- [4]間瀬健二、“ 動画像を用いた新しいマシンインターフェースの研究 ”、
<http://www.mic.atr.co.jp/~mase/papers/mase92.pdf>
- [5]田中清、“ 写真と図でおぼえる 手話で話そう ”、西東社、20, Apr 2001
- [6]田中清、“ 写真と絵でおぼえる 手話 ”、西東社、25, Sep 2000
- [7]Herbert Schildt＝著、SE 編集部＝訳、柏原正三＝監修、“ 独習 C 改訂版 ” 翔泳社、15, Feb 1999