

オプティカルフローを用いた運動機能障がい をサポートするユーザインタフェースの試作

宮崎英一, 坂井聡, 谷口公彦*, 佐野将大*, 近藤創*, 野田知智**

760-8522 高松市幸町1-1 香川大学教育学部

*761-8057 高松市田村町1098 香川県立高松養護学校

**761-8074 高松市太田上町513-1 香川県立聾学校

Prototype of a Support Input Interface for People with Disabilities Using Optical Flow

Eiichi MIYAZAKI, Satoshi SAKAI, Kimihiko TANIGUCHI*, Shoudai SANÓ*,
Hajime KONDO* and Tomohiro NODA**

Faculty of Education, Kagawa University, 1-1 Saiwai-cho, Takamatsu 760-8522

**Takamatsu Special Education School, 1098 Tamura-cho, Takamatsu 761-8057*

***Kagawa Prefectural School for the deaf., 513 Ootakami-machi, Takamatsu 761-8084*

要旨 本研究室では、運動機能障がいを持つ方に対して、WEBカメラを用いた入力インタフェースを作成してきた。しかしこれは不随意運動等のユーザの意図しない動作も入力として検出してしまう問題点があった。もしユーザの動作から意図性をもった動作のみ抽出できれば、不随意運動を持った方でも正確なスイッチ動作が可能となる。本研究室では、過去にWEBカメラでモーションヒストリー・センサを試作したが、精度を確保するためには、ある程度の測定領域を必要とするため、動作点のポイント測定が困難であった。そこで新しくオプティカルフローの手法を取り入れ、ポイントでのモーションヒストリー測定を可能にただけでなく、マルチポイントでの測定も可能となり、高精度で情報量の多いモーションヒストリー測定の実現化が期待できるようになった。

キーワード 障がい者支援, OpenCV, オプティカルフロー, WEBカメラ, 入力インタフェース

1. はじめに

我々の日常生活において、インターネット環境やスマートフォン等の普及に伴い、これらのICT機器は当たり前のように日常生活において使用されている。従来これらの利用は主として若年層の使用が中心であったが、最近では、その利用内容の拡大から若年層だけに留まらず高齢者までも広く普及するようになった。それに伴い、我々の日常生活におけるインターネット等を介した情報への依存度は日々拡大し続けており、ICT機器はネットショッピングやコミュニケーションツールとして日常生活において必要不可欠なものとなっている。このようにICT機器の普及に伴い、従来の生活環境では不可能であった時間と空間に関する様々な問題点が、解決可能となってきている。

ICT機器の普及は、我々の日常生活において多くの場合にその日常生活の質（QOL：quality of life）的向上をもたらすことが可能となった。しかし、現時点でもこれらのICT環境が、障がいのある多くの人にとっては、まだ十分に活用できる環境が整っているとは言い難い。

その大きな原因の1つとして、ICT機器の利用においては必然的に発生する、入力インタフェースの問題が存在する。これは、従来からごく一般的に使用されているマウスやキーボードといった入力インタフェースは、健常者の利用を中心に考えられており、障がいのある人の使用を前提に設計されていない。特にコンピュータを利用する場合、マウス、キーボードやタッチスクリーンでの運用が基本となっており、これ以外に入力インタフェースは殆ど見る事が出来ない。よって何らかの原因でこれらのインタフェースの利用が困難な場合、ICT機器の利用は事実上、困

難となり、障がいを持った方に対してデジタルデバイドⁱが発生してしまう。

そこで本研究室では、運動機能障がいを持った方でも利用可能なOpenCVを用いたICT機器を操作するユーザインタフェースを試作した。これは、オプティカルフローという手法を用いて、従来のWEBカメラを用いたトラッキングによるインタフェースで問題になっていた、動作トリガーターゲットのマルチポイント化により、より正確なモーションヒストリーの測定が可能になった。その結果、従来の測定方法では不十分であったモーションヒストリーの高精度測定が可能になったので、このモーションヒストリーから障がいをもった方の運動機能特性の解析が可能になると考えられる。もし不随意運動の影響をより正確に除去した運動解析モデルが確定できれば、運動機能に障がいを持った方でも、コンピュータの動作が可能となり、新しい余暇のスタイルや就業までを視野に入れた運用が期待できると考えられる。

2. 運動機能障がいに対応したインタフェース

ここでは運動機能に障がいを持った方がICT機器の操作に使用する代表的なユーザインタフェースについて考察する。

2-1. 押しボタンインタフェース

運動機能に障がいを持った方が使用する最も基本的なスイッチタイプのユーザインタフェースⁱⁱである。この代表的なものを図1に示す。これは単純な機械式スイッチと専用のソフトウェアを組み合わせる事で、ICT機器に対してスイッチ動作だけで複数の連続した操作が可能になる。

更にこれは使用者の運動特性に合わせて様々な操作力のタイプが準備されており、例えば筋ジストロフィーの方の利用では、極め



図1 入力装置 スペックスイッチ

て操作力の小さい物が使用される。また指でのスイッチ操作が困難な方の場合には、人間が操作するスイッチ部分の直径が大きいものがあり、足や肘、頭、舌等の部位でスイッチ操作が可能になる。しかし機械的なスイッチ操作が必要なために基本的には、

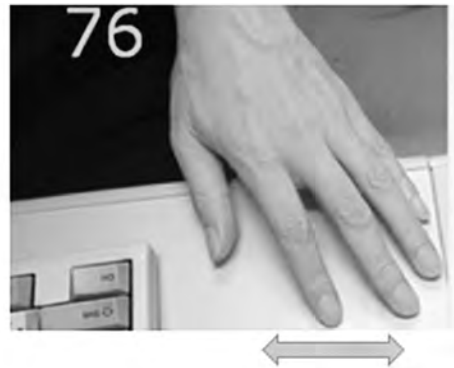
- ①スイッチを押すだけの操作力
- ②スイッチが作動する方向に押せる
- ③スイッチ操作が可能な状態で固定（フィッティング）

の3つが要求される。特に実際の現場での使用においては、③のフィッティングが正確に出来ていないと、同じスイッチを使用しても利用者のユーザビリティが極端に悪化する場合があるので、この点にも注意が必要である。

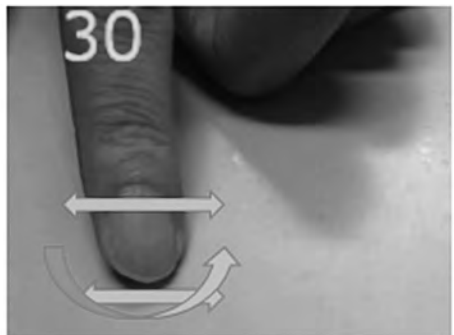
2-2 WEBカメラインタフェース

WEBカメラインタフェースは、障がいを持った方の動作可能な任意の部分を動作のトリガー部分として設定（指以外にも、肘、こめかみ、足等）する。次にWEBカメラで撮影された動画画面を見ながら、上記で設定したトリガー部分をリアルタイムでトラッキング・ターゲットとして選択する。この部分の動きだけを動作のトリガーとして選択的に検出する事で、他の部分が動いてもトリガー操作に対する影響を除去出来るものである。

本研究室では先行研究として、運動機能に



a) 広範囲測定



b) 狭範囲測定

図2 トリガー画像

障がいを持った方に対するWEBカメラを用いた入力インタフェースを開発ⁱⁱⁱしてきた。このインタフェースのトリガー画像を図2に示す。この入力インタフェースは、従来の障がいを持った方に使用頻度の高い、押ボタンインタフェースと比較して幾つかの利点がある。

WEBカメラを使用した場合、同図に示すように、カメラとユーザの撮影対象部位の距離を調節することで、ユーザの肘や腕といった比較的大きな動作から、指先のような小さな動作まで1台のデバイスで対応できる。同図a)と同図b)は、WEBカメラの画素数だけでいえば、共に同じ画素数だけトリガーとなるターゲットが移動している。しかし実空間

において、各ターゲットは同図a)は数cm程度の移動、同図b)は数mm程度の移動となっている。このようにWEBカメラを使用した場合、1つのデバイスで大きな動作から小さな動作まで、ユーザの運動特性に応じた入力インタフェースが実現できる。

更に、WEBカメラを入力インタフェースとした場合、同図b)に示すようにユーザの可動域の大小や動作可能方向、操作力向等の制限を受ける事がない。トリガーとして設定した部分がどの方向でも移動すれば、それがトリガー入力として認識させる事が可能である。障がいを持った方の運動特性は、症例が同じでも個人によって運動特性が大きく異なる。よって従来の入力インタフェースでは、個人の運動特性に合わせたオーダーメイドが理想とされてきた。しかし実際には入力インタフェースのオーダーメイドは費用的にも、構造的にも困難な場合が多く、大部分のユーザは自分の運動特性にカスタマイズされた入力インタフェースが使用できず、市販の一般的な運動特性に合わせたインタフェースで我慢して使用している事が多かった。更にこれだけに留まらず、運動機能に障がいを持った方の多くは、日々の体調によっても運動可能な部分の偏差が極めて大きい。よって本来は、これらの偏差に柔軟に対応できる入力インタフェースが理想的である。

マウス、キーボードや押しボタンスイッチといった従来の入力インタフェースは機械的なスイッチで構成されている。このため、利用においてはスイッチを押す動作を要求されるが、運動機能に関して障がいのある方は運動機能に制限が多く、特定の方向に可動方向が制限されたりするので、その方向から外れるとスイッチを押せないという方もいる。この場合、ユーザの動作が可能な位置（例えば

押すスイッチを地面と垂直になるようにスタンドで固定したりする)に配置し、スイッチ操作を行ってもらう必要がある。この操作をフィッティングと言い、障がいを持った方のインタフェース・ユーザビリティは支援者のフィッティング・スキルに大きく影響を受ける。

WEBカメラを利用したインタフェースは同図b)に示すように、指の平行移動や、回転移動、さらには上下運動でも、指の運動方向に依存せず、動作トリガーとして利用可能である。よって、フィッティング・スキルが低い支援者でも運動機能障がいを持った方の入力インタフェース・ユーザビリティに悪影響を与えないと考えられる。結果として、WEBカメラを利用したインタフェースは従来のインタフェースと比較してより多くの症例や個人的な体調変化にも簡単に対応可能なため、学校や家庭といった実際に学習・生活している環境下で障がいを持った本人のユーザビリティを向上させるだけでなく、支援を行ってくれる支援者にも負担をかけずに使用してもらえシステムとなっている。

3. WEBカメラインタフェースの問題点

上記で説明したインタフェースで問題になるのが、入力インタフェースの動作トリガーとなる対象部位の動きを検出するアルゴリズムである。不随意運動を伴わず、決まった部位しか動作しないような状態ならば、単純なトラッキング・アルゴリズムでこれらは実現可能である。上記で説明した先行研究では単純なカラートラッキングを行い、動き検出を行っている。しかし不随意運動を伴う場合、本来の動作トリガーとなる部位が不随意運動の影響で誤ったトリガーとして認識されてしまうという問題点があった。具体的には、親指の動作をトリガーとした場合、親指

の動きだけがスイッチ操作になると仮定している。しかし不随意運動により腕が初期位置よりずれた場合、撮影対象となる親指の撮影画像が変化してしまう。こうなると撮影された親指と認識されず別の部位と認識してしまうので、トリガー対象をロストしてしまうという問題点が発生した。

また例え不随意運動が発生しなくても動作中に腕が動いてしまい、動作トリガー対象となる親指の画像が変化すると、上記と同じ理由でトラッキングがロストしてしまう。この原因はカラートラッキングアルゴリズムにある。カラートラッキングは撮影対象となる画像の構成画素1ピクセルごとに色要素をRGBで分解し、撮影された動画1フレームごとに全画素に対してRGBの色比較を行うものである。

このため測定対象となる物体が移動すれば、RGBの色要素が一致する部分に物体が移動した事がわかり、物体の移動が検出できる。ところが上記で説明した腕の回転のような変化が発生すると親指の画像も変わってしまい、初期に設定した色情報と異なってしまふ。このため撮影されフレームを全画素についてスキャンしても一致部分が見つからず、ロストが発生する。

4. オプティカルフロー

カラートラッキングにおける測定対象のロストを防ぐには、機械学習を用いた画像認識を行い、親指の特徴量を抽出する事で、不随意運動の影響で親指が裏向きになっても、親指として認識出来る事が理想となる。現在の機械学習アルゴリズムではこれらは静止画像の比較では、比較的簡単に行えるが、今回のように動画からリアルタイムで特定部位を抽出するには、計算コストが大きくなってしまふという問題点があった。

そこで本研究ではOpenCVの中にあるオプティカルフローという手法を画像認識に利用した。OpenCVとは、コンピュータ・ビジョンの分野においてスタンダードとなっているオープンソースのコンピュータ・ビジョン向けライブラリである。これは画像処理・画像解析および機械学習等の機能を持つC/C++, Java, Python, MATLAB用ライブラリであり、Windows, Android, iOS等をサポートしている。

ライブラリの内部には画像処理 (Image Processing), 構造解析 (Structural Analysis), モーション解析と物体追跡 (Motion Analysis and Object Tracking), パターン認識 (Pattern Recognition), カメラキャリブレーションと3次元再構成 (Camera Calibration and 3D Reconstruction) 等、様々なライブラリから構成されている。

本研究ではこの中のオプティカルフロー (Optical Flow) に着目し、このライブラリを物体認識に応用した。オプティカルフローとは、視覚表現 (通常、時間的に連続するデジタル画像) の中で物体の動きをベクトルで表したものであり、画像の動き解析に用いられる事が多い。オプティカルフローにおいては、1) トラッキングと2) フロー推定に分別できる。その特徴^{iv}を下記に示す。

1) トラッキング

画像の中の特定の物体 (人やオブジェクト) を追跡する。これは、リアルタイム型、非リアルタイム2種類となる。リアルタイム型はテンプレートマッチングやMean Shiftなど、ターゲットオブジェクトを様々な手法で表現し、画像フレーム間での追跡を行う。バッチ型はすべての画像が出そろった後で、動的計画法などで動きを逆算する

2) フロー推定

画像の中で何がどう動いたのかを検知（観測対象が決まっているトラッキングとは異なる）。これは、画像の中の特徴的な点に絞って解析する、sparse型と、画素全体の動きを解析するdense型に分類できる。sparse型としては、Lucas-Kanade法、またdense型としては、Horn-Schunck法、Gunnar-Farneback法等がある。

先行研究で行ったWEBカメラを用いたユーザインタフェースではOpenCVのオプティカルフローのライブラリを使用せずに、独自（カラートラッキングの応用）に実装している。このため、トラッキングの精度面においては必ずしも満足できる結果では無かった。そこで本研究では改めてOpenCVのオプティカルフローライブラリのLucas-Kanade法を利用し、物体認識を行うものである。

Lucas-Kanade法

本研究で使用したLucas-Kanade法の簡単な説明^vを以下に示す。Lucas-Kanade法[1]は1981年にLucas氏と金出氏によって発表された、物体のエッジや模様などの特徴的な点を抽出し物体を追跡する基本的なアルゴリズムである。研究者二人の名前のイニシャルをとり、LK法と略されることも多い。OpenCVではcvCalcOpticalFlowLK関数として実装され

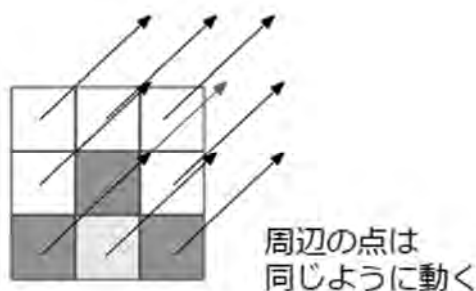


図3 Lucas-Kanade法モデル

ている。Lucas-Kanade法は、図3に示すように動き解析の解法条件として周辺の点は全て同じように移動するという空間的整合性を仮定し制約をかけるものである。そのフロー^{vi}としては、「最小二乗法でオプティカルフロー（移動物体の動きベクトル）を推定」→「最小二乗法で求めた推定解は実際に使うと真値と大きくズレてしまう」→「山登り法を使って推定解を真値に近づける」となる。

本研究では、スイッチ操作に伴う不随意運動の影響を除去する方法を確立するために、その運動動作の解析が必要となる。この解析には、ユーザの運動動作を正確に測定・記録する必要があり、この測定・記録をモーションヒストリーという。これには時系列で測定ポイントの3次元での空間位置を測定する必要がある。先行研究で作成したカラートラッキングを用いたWEBカメラのユーザインタフェースの測定画面を図4に示す。同図でのマウス操作により、四角形で囲まれた領域が対象の移動を検出する測定領域となっている。同図からわかるように、この測定点はポイントでは無く、ある程度の面積を持った領域が必要である。これは上記で説明したように、カラートラッキングにおいては測定対象となる面積が小さいほど、誤認識が発生しや



図4 カラートラッキングによる移動検出



図5 a) オブティカルフロー測定（移動前）



図5 b) オブティカルフロー測定（移動後）

すく、測定精度を保つために、ポイントでの測定は困難なためである。このため、ピンポイントでのモーションヒストリー、さらには同一画面において測定点をマルチポイント化しての測定は困難であった。

本研究で試作したオブティカルフローを用いたインタフェースの測定ポイントの画像を図5に示す。ここで用いたプログラムは「motion.py」^{vii}として発表されているプログラムを改造してWEBカメラからの入力およびモーションヒストリー測定用に各測定ポイントの(x, y)座標をファイルに出力するように変更したものである。

同図の○がWBカメラで撮影された動画を

見ながらマウスのクリックにより、リアルタイムで指定した測定ポイントである。同図a)が、薬指が上がった状態、と同図b)が同じ薬指が下がった状態を示している。このように指の運動に伴い、マウスで指定した全てのマルチポイントが追従している事が分かる。このように画面上の任意の位置のモーションヒストリーをピンポイントで測定できるので、指の間接部分の動作に着目したような、より詳細なモーションヒストリーの測定が可能になった。

またオブティカルフローの応用例として上記のプログラムとは逆に予め撮影画面上に固定した格子点を配列し、この格子点において動作のあった部分の方向を矢印で示した例を図6に示す。この測定には「OpticalFlow+Particle」^{viii}として発表されているプログラム



図6 a) クリック動作測定

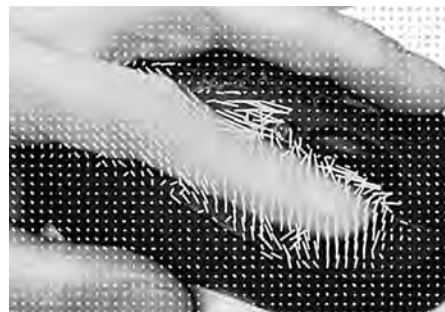


図6 b) 移動部分拡大

をそのまま使用させて頂いた。同図は。マウスのクリック操作中の指の動きを撮影しており、クリックに伴う指の動き状態が示されている。同図a)が全体画像、同図b)が運動部分をそのまま拡大したものである。拡大された同図b)を見ると、動きがあった方向に各格子点位置の線が向いており、空間位置における運動方向を測定する事が可能である。

5. おわりに

本研究ではオプティカルフローを用いて、撮影している動画から任意のポイントをマウス操作だけで選択し、マルチポイントでモーションヒストリーを測定出来る計測システム試作した。これはスイッチ操作に伴う複数の任意の点の空間的な変化を捉える事が可能なので、従来のモーショントラッキングを用いた手法と比較して、より精度の高い運動解析が可能になると考えられる。

今後は学校等の現場でこの測定システムを使用してもらい、実際のユーザのモーションヒストリーの測定を行う予定である。その測定データを元に、不随意運動を伴う動作の運動解析を行い、不随意運動の影響を軽減するような運動モデルの構築を試みるものである。そして最終的には、この運動モデルをフィードバックした、入力インタフェースの実用化を目指し、障がいを持った方にもICT機器を十分に活用できるような入力インタフェースの完成を目指すものである。

6. 謝辞

本研究は、平成29年度科学研究費補助金

(基盤研究 (C))「マルチモーダル・インタフェースを応用した肢体不自由児における意思表出構造の解明」(課題番号15K01460)の一部として行われたことを記して謝意を示す。

7. 参考文献

- ⁱ 障害者におけるデジタル・デバイドの現状 (デジタル・オポチュニティの確保), 平成13年版 情報通信白書, 第1章第5節, 2001
- ⁱⁱ 入力装置 (スイッチ), スペックスイッチ https://toksoamor-com.ssl-xserver.jp/4_292.html
- ⁱⁱⁱ WEBカメラを用いた肢体不自由者用入力インタフェースの試作, 宮崎英一;坂井聡;谷口公彦;佐野将大;野田知智;近藤創, 第66巻1号, pp.17-24, 2016
- ^{iv} OpenCVでとらえる画像の躍動, Optical Flow, <https://qiita.com/icoxfog417/items/357e6e495b7a40da14d8>
- ^v [Computer Vision Advent Calendar 2012] LucasKanade法の導出及び特徴についてAdd Starnatrium11321, <http://d.hatena.ne.jp/developer6527/20121221/1355754203>
- ^{vi} LucasKanade法によるオプティカルフロー推定の原理, <http://opencv.blog.jp/algorithm/lucaskanade>
- ^{vii} OpenCV 3 とPython 3 を使った物体追跡 <https://qiita.com/hitomatagi/items/3d8973f855e963c9d999>
- ^{viii} OpenCV for Processing - コンピュータ・ビジョン, 映像を使ったインタラクション http://yoppa.org/sfc_design16/7958.html