

加速度計を用いた不随意運動を伴うスイッチ動作の測定

宮崎英一, 坂井聡*, 谷口公彦**, 佐野将大**, 野田知智***, 近藤創**

(技術教育) (特別支援教育)* (香川県立高松養護学校)** (香川県立聾学校)***

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

Measurement of Switch Operation with Involuntary Motion using Accelerometer

Eiichi MIYAZAKI, Satoshi SAKAI, Shoudai SANO, Tomohiro NODA
and Hajime KONDO

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

***Kagawa Prefectural 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、運動機能に問題のあるユーザに対して、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する問題点があった。もしユーザの動作から意思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、これでは、位置の2次元記録だけであり、スイッチ動作の意図性を判断する事は出来なかった。そこで新しく小型の3軸加速度センサを用いてスイッチ動作のモーション測定システムを試作し、スイッチ動作の意図性を検出する事を試みる。

キーワード 入力インタフェース, 加速度センサ, 障がい者支援, スイッチ操作, 計測

はじめに

現在、インターネット環境やスマートフォン等の普及に伴い、これらの機器は日常生活において当たり前使用されるようになった。その結果、IT機器は若年層から高齢者まで広く普及してきていると言えよう。このように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、ネットショッピングやコミュニケーションツール等は既に我々の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、我々の日常生活に様々な質的向上をもたらすことを可能にしたIT環境であるが、これらの環境が障害のある人にとっては十分に活用できる環境はまだ整ってない。

その主たる原因の1つとして、入力インタフェースの問題が存在する。これは、大多数の人が一般的に使用し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、障害のある人の使用を前提に設計されていない。このため、障害を持った方の症例によっては、基本的なマウスの位置決めや、クリック・ダブルクリックといったマウス操作が困難な場合、これらのインタフェースでは全く使用出来ない¹ 場合がある。

そこで本研究ではWEBカメラを用いたトラッキング入力インタフェースⁱⁱを試作してきた。これはユーザの動作可能な任意の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。そして、この部分の動きだけを検出する事でマウスやキーボードといった入力インタフェースと同じ操作を行う事が可能になった。さらに、カメラと撮影対象部位の距離を調節することで、ユーザの大きな動作から小さな動作まで対応できるので、ユーザの可動域の大小や動作方向等の制限を受けない。このため本システムだけで、様々な症



図1 試作したWEBカメラインタフェース

例に対応出来ると考えられるので、多くのユーザの利用が可能になる。

本研究室において過去に試作したWEBカメラインタフェース・システムを図1に示す。ここではWEBカメラで撮影した動画にリアルタイムで「動き検出」画像処理を行い、任意の指の動作変化によってスイッチ操作を行うものである。ここでは制御例として同図の左側に示すように、キーボードの1キー入力を行う事ができた。

しかし同時に問題になったのが、ユーザの不随意運動の影響である。不随意運動とは様々な原因によりスイッチ動作の途中でユーザの意図しない動きが発生してしまうものである。先に試作した入力インタフェースは不随意運動が発生した場合、使用者の意図しない動作も正常な入力として検出してしまうという問題点があった。そこで利用者の動作だけから意思性をもった動作のみを抽出できれば、不随意運動に伴う誤差動作（ノイズ）の影響を軽減でき、ユーザの意思を正確に反映したスイッチ動作が可能となる。

よって何らかの方法でスイッチ動作のモーションヒストリーⁱ⁾を記録し、使用者のスイッチ動作を時間的な位置変化として記録を行い、この結果から意図性のある動作を検出できれば、ユーザの意思を正確に反映した入力インタフェースの構築が可能になると考えた。

2. スイッチ操作に伴う不随意運動の影響

本研究では、特にスイッチの操作における使用者の不随意運動の影響について考察する。本研究では、実際の現場においては障害をもった方に多く使用されている押ボタンスイッチを操作研究対象とする。

2.1 押しボタンスイッチ

学校や家庭内といった実際の現場において最も一般的に使用されることが多い押ボタンスイッチを図2に示す。これは「スペック・スイッチ」あるいは「ジェリービーン・スイッチ」等とも呼ばれており、機能的には電気的な信号のオンとオフを切り替える押ボタンスイッチである。具体的ⁱⁱⁱ⁾には家電製品等と接続して電源のオン・オフを切り替えたりするものである。構造的には最も基本的な押ボタンスイッチであるが、使用される方の症例に合わせて、押す部分の大きさが直径20cmのような大きなものから数センチ程度の小さなもの、さらに動作力が殆ど必要無いものと個人の症例に合わせて様々な種類がある。

このように個人の特性に合わせて、様々なスイッチが準備されている事が障害をもった方に広く使用されている理由でもある。このように極めて単純なスイッチ動作だけに関しても個人の動作特性が大きく影

響し、実際の運用に関しては、入力インタフェースには個別対応が必要不可欠な事が分かる。

2.2 押しボタンスイッチと不随意運動

図3に不随意運動におけるスイッチ動作例を示す。同図では不随意運動を持った方の3回(1, 2, 3)のスイッチ入力動作が行われている。この図面からではスイッチ動作としては、3回のON操作が入力されたと思なされるが、実際は1, 3だけが入力意思をもった動作であり、2は不随意運動によるスイッチ動作である。つまり、押しボタンスイッチの入力結果からだけでは、その操作に意図性があったかどうかは判断出来ないという問題点があった。

これは、例えユーザが間違っってスイッチを押したとしても、スイッチは押されると、動作してしまうためである。これは不随意運動を持ったユーザにとっては大きな問題となり、ユーザインタフェースとしてのユーザビリティが極めて悪い。

通常、この現象は運動機能に問題の無い人ならば、体感しにくい事なので、大きな問題として捉えにくい。しかし、普段自分が使用しているマウスが故障してしまい、操作中に勝手に左ボタンクリックが操作されたとすれ



図2 押しボタンスイッチ

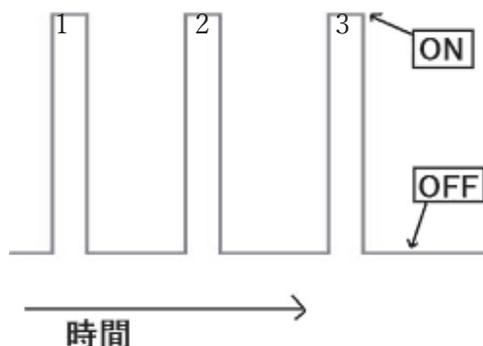


図3 不随意運動におけるスイッチ動作例

ばどうであろうか。このように自分の意思を正常に伝達出来ないユーザインタフェースを使用する事は、大きなストレスとなり、恐らく、大部分の方はマウスを正常に動作するものに交換するであろう。

つまり入力インタフェースは使用者の意図を忠実に反映出来るものでなくてはならない。そこで本研究では、スイッチ以外に他のセンサを組み合わせることで、ユーザの操作における情報量を増やし、スイッチ動作の意図性を判別する事で、障害をもった方にも使用しやすい入力インタフェースの構築を目指すものである。

2.3 不随意運動の意図性判別

この不随意運動に伴う解析は先行研究として幾つかが発表されている。この代表的なものに、東京大学(先端科学技術研究センター)の中邑先生が発表した「OAK-Observation and Access with Kinect」という計測システムがある。

これはマイクロソフト社が開発した「Kinect」^{iv}を利用し、障害を持った方の入力補助を行うシステムである。このシステムを図4に示す。「Kinect」は元来、ゲームの入力インタフェースとして開発され、ジェスチャーや音声認識を介してユーザの自然な操



図4 Kinect



図5 「OAK」測定画面

作(マウスやキーボードといった入力インタフェースは自然ではない事に注意)でコンピュータの操作を行うものである。

この「Kinect」を用いて開発されたものが、「OAK」である。この測定画面を図5に占める。「OAK」はいろいろな測定モードを持っているが、ここでモーションヒストリーモードを実行している。これは「わずかに動く体の部位を明確にしたり、不随意的な動きが多い中で、実際にはどの部位が多く動いているのかを調べたりする評価機能です。それらの動きの頻度が多いところを頻度順に色分けして表示することができます。」^vという機能がある。

これはスイッチ動作におけるユーザの意図性判別^{vi}を、意思をもった動作と不随意運動を比較した場合には、統計的に見て意思をもった動作の方が、不随意運動よりも出現頻度が高いであろうという推論に基づくものである。しかし、実際の現場ではユーザのどこが一番良く動作するのを判定する事が困難な場合が多いため、連続的に動作測定(モーションヒストリーの記録)を行い、最も良く動作しているという部分を自動的に判別してくれるものである。同図右は「OAK」のモーションヒストリー測定画面を示している。ここでは変化部位の移動回数頻度を色で表示しており、色が赤い部分の運動回数が多かった、すなわち、この部分が動作した時が一番ユーザの意図性を反映しているという事がわ

加速度計を用いた不随意運動を伴うスイッチ動作の測定

かる。

以上より、入力インタフェースを新しく作成する場合、不随意運動のように運動機能に問題のある状態では、ユーザの意図性を反映する事は実際の運用において必要不可欠である事が示された。

3. 加速度センサの導入

そこで本研究では、ユーザの意図性を正確に測定するために従来のWEBカメラインタフェースを補完する形で、新しく加速度センサを導入する。単純な押ボタンスイッチならば、信号のオン・オフしか測定出来ないの、この結果から意図性を判定する事は困難であった。しかし、加速度センサを用いると、3次元での指の運動加速度等を測定できるので、スイッチ操作に伴う、より多くの情報を測定できる可能性がある。よって本研究では、加速度センサを新たに導入するものである。

3.1 実験に用いた加速度センサ

加速度センサはその名称通りに物体の加速度を測定するものであり、現在では我々の周りに身近に存在している。例えば、多くのスマートフォンにこれらのセンサが実装されている。これらのセンサはスマートフォンを回転させた時の加速度の変化でディスプレイ画

面の縦・横方向を自動的に切り替える等に使われている。

本研究では、スイッチ操作を行う指にこの加速度センサ固定し、スイッチ操作に伴う指の加速度変化を3次元的に測定するものである。そして、この測定データをもとに、ユーザの意図性が指の加速度に反映されているかを確認する事を最終的な目的とする。

この実験システムを図6に示す。ここでは加速度センサとして「9DoF センサスティック」^{vii}を用いた。これは小型な9自由度の慣性計測装置 (IMU) であり、3軸の加速度センサ、3軸のジャイロセンサ、3軸の磁力センサを持つ。またサイズも23×11mmと小型なため、指に固定しても、ユーザのスイッチ操作の妨げにならず、固定も簡単である。

ただ、このセンサはインタフェースとしてI2Cをもつので、コンピュータに直接接続する事が出来ない。そのため、本研究では、組み込み機器の制御に用いられる事が多いマイクロコントローラ (Arduino Pro Mini) を利用し、これをI2Cのインタフェースとする事でコンピュータが加速度センサの測定データを計測できるようにしている。

3.2 加速度測定

実際に指に加速度センサを装着し、スイッチ動作の加速度を測定している様子を図7に

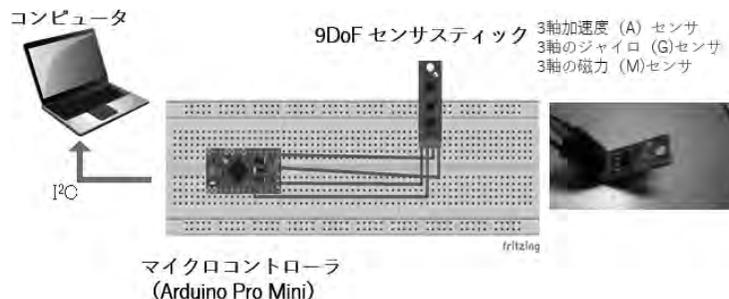


図6 加速度センサ測定システム構成図

示す。ここでは操作例としてマウスの左ボタンを押す状態を想定している。加速度を測定するX-Y-Zの3軸座標軸を同図に矢印で示している。

図8に実際に加速度センサから得られた測定値を示す。ここでは加速度センサが3軸の加速度センサ, 3軸のジャイロセンサ, 3軸の磁力センサを同時に測定するので、

- ・ G (angular rate channels) ジャイロ
- ・ A (acceleration channels) 加速度
- ・ M (magnetic field channels) 地磁気

の値をそれぞれx, y, zの直行3軸に対して測定している。また

- ・ Pitch
- ・ roll
- ・ heading (yaw)

はそれぞれ, y軸, X軸, Z軸の回転角度を示している。

実際の測定に関しては, 同図のデータをリアルタイムでCSV形式としてファイルに書き出し, 測定終了後に表計算ソフト(エクセル)を用いて数値のグラフ化を行っている。ただし, 出力されたままのデータフォーマットでは, エクセルを用いたデータのグラフ化が困難なため, グラフを作成しやすいようにエク

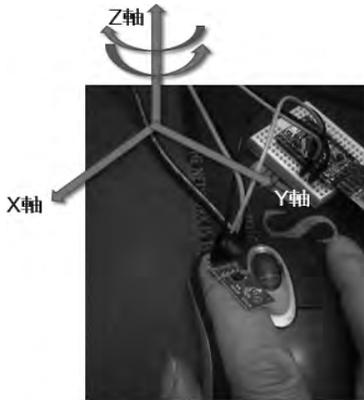


図7 実際の測定画面

セル上でデータを交換するプログラムを新しく作成し, データのグラフ化を行っている。このフォーマット変換を行った画面を図9に示す。

これらのデータを用いて測定された値をグラフ化したものを図10に示す。ここでは, 図7に示すようにマウスの左クリック時の運動を測定している。ここでは1回のクリック操作だけを表示しているが, 現状では測定されたデータから作成されたグラフと事前に予想されたスイッチ操作のグラフが一致していないという問題点があった。

この測定では何度か繰り返して測定を行ったが, 多少の数値の変化はあったものの,

```

test - コピー.csv - メモ帳
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)
G: -0.62, 5.41, -2.24 deg/s
A: -0.39, 0.37, 0.87 g
M: 0.05, 0.05, -0.08 gauss
Pitch, Roll: 22.27, 22.52
Headings: 235.25

G: -0.78, 5.36, -2.13 deg/s
A: -0.39, 0.37, 0.87 g
M: 0.05, 0.06, -0.09 gauss
Pitch, Roll: 22.45, 22.72
Headings: 238.03

G: -0.74, 5.37, -2.22 deg/s
A: -0.39, 0.37, 0.87 g
M: 0.05, 0.06, -0.09 gauss
Pitch, Roll: 22.49, 22.76
Headings: 237.68

G: -0.80, 5.38, -2.30 deg/s
A: -0.39, 0.37, 0.87 g
M: 0.05, 0.05, -0.09 gauss
Pitch, Roll: 22.51, 22.83
Headings: 236.76

G: -0.72, 5.27, -2.29 deg/s
A: -0.39, 0.37, 0.87 g
M: 0.05, 0.06, -0.08 gauss
Pitch, Roll: 22.42, 22.67
    
```

図8 9軸加速度測定画面

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2	#	x	y	z	g	g	g	pitch	roll	heading	roll
3	-0.62	5.41	-2.24	-0.39	0.37	0.87	-0.39	-0.47	-6.47	-97.72	
4	-0.62	5.41	-2.24	-0.39	0.37	0.87	-0.39	-0.46	-6.15	-97.49	
5	-1.01	6.39	-2.85	-0.39	0.37	0.87	-0.39	-0.49	-6.19	-97.69	
6	-0.82	6.29	-2.84	-0.39	0.37	0.87	-0.39	-0.47	-7.82	-98.84	
7	-0.69	6.52	-2.55	-0.39	0.37	0.87	-0.39	-0.47	-6.39	-97.23	
8	-0.89	6.29	-2.54	-0.39	0.37	0.87	-0.39	-0.46	-6.76	-97.76	
9	-0.81	6.19	-2.43	-0.39	0.37	0.87	-0.39	-0.47	-6.51	-97.72	
10	-0.77	6.13	-2.62	-0.39	0.37	0.87	-0.39	-0.46	-6.99	-97.8	
11	-0.78	6.14	-2.7	-0.39	0.37	0.87	-0.39	-0.46	-7.24	-97.84	
12	-0.82	6.32	-2.43	-0.39	0.37	0.87	-0.39	-0.47	-7	-97.41	
13	-0.86	6.48	-2.85	-0.39	0.37	0.87	-0.39	-0.46	-6.75	-97.61	
14	-0.49	6.2	-2.4	-0.39	0.37	0.87	-0.39	-0.46	-6.7	-98.44	
15	-0.64	6.29	-2.52	-0.39	0.37	0.87	-0.39	-0.46	-7.36	-97.58	
16	-0.51	6.36	-2.68	-0.39	0.37	0.87	-0.39	-0.46	-7.57	-97.68	
17	-0.81	6.39	-2.54	-0.39	0.37	0.87	-0.39	-0.46	-6.75	-97.23	
18	-0.93	6.24	-2.54	-0.39	0.37	0.87	-0.39	-0.46	-7.54	-98.01	
19	-0.82	6.19	-2.52	-0.39	0.37	0.87	-0.39	-0.46	-6.84	-98.15	

図9 変換後の加速度データ

加速度計を用いた不随意運動を伴うスイッチ動作の測定

データの変化傾向は概ね同じであった。つまり現時点では、何らかの原因で測定に不備が

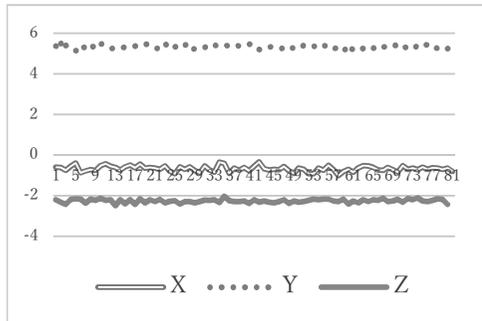


図10 a) Angular Rate 測定画面

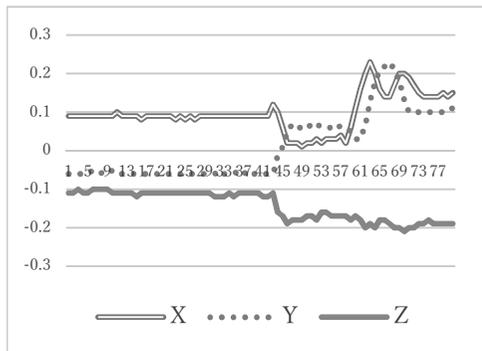


図10 b) Magnetic Field 測定画面

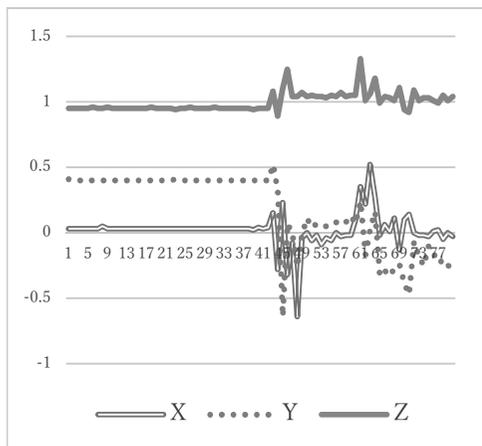


図10 c) Acceleration 測定画面

あったと考えられるが、その原因が、コンピュータの取り込みプログラムに問題があったのか、センサ自身の校正が不十分であったのか、その他まだ気づかない要因があったのかは、まだ確定していない。

そのため、今後は人間のスイッチ操作のように、複雑化された対象を測定する前に、コンピュータによって制御される最も単純化した運動モデルを作成し、基礎的なデータから測定をやり直す必要がある。

4. おわりに

本研究では加速度センサを用いた単純なシステムでモーション測定システムを試作し、障害のある人のスイッチ動作の特性を知る手掛かりとなる可能性を求めた。しかし現段階ではデータの正確さ等を含めた検証ならびに、実際のユーザに利用してもらうための環境整備とまだまだ系統的に不十分である。よって今後は更に改良を行い、現場でのテスト運用化を目指すものである。

5. 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。

6. 参考文献

- i 「重度障害者用意思伝達装置」導入ガイドライン 2012-2013, 日本リハビリテーション工学協会, <http://www.resja.or.jp/com-gl/>
- ii 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, 香川大学教育学部研究報告第II部, 66

- 卷1号, pp.17-24, 2016
- iii 機器紹介 ～支援ソフト・モニター～
なんでもスイッチUSB1, http://www.mie-ed.jp/shokus/joho/joho_soft.htm
 - iv Kinect for Windows の紹介, <https://developer.microsoft.com/ja-jp/windows/kinect>
 - v 機能詳細 モーションヒストリー, <http://www.ttools.co.jp/product/hand/oak/#function>
 - vi モーションヒストリーによる支援者の適合負担の軽減の把握, 巖淵守, 田中栄一, 「音声言語機能変化を有する進行性難病等に対するコミュニケーション機器の支給体制の整備に関する研究」, pp.71-74, 2015
 - vii 9DoF Sensor Stick Hookup Guide, <https://learn.sparkfun.com/tutorials/9dof-sensor-stick-hookup-guide>