

加速度センサを用いた実環境下の空中手書き文字入力インタフェース

Aerial Handwriting Interface Using Acceleration Sensor in Real Environments

福山 慎太郎[†] 中井 満[†]
Shintaro Fukuyama Mitsuru Nakai

1. はじめに

近年, ジェスチャーによる入力インタフェースの研究が盛んに行われており, 室内の機器の操作に応用されるまでに至った. 本研究室においては, 加速度センサを内蔵した筆記具を用いて, 空中に空書きした文字の認識を行ってきた. ただし, 静かな環境での使用であり, 歩行中や走行中の車内のような筆記以外の加速度信号が加わることを想定していなかった. そこで本研究では, 実環境において文字を空書き入力するインタフェースを検討する.

2. 文字筆記インタフェース

空中に指先で文字を書き, 筆記の加速度信号を取得する. 肘を固定した書き方で, 筆記の信号が肘に伝わらないと仮定すれば, 身体にかかる筆記以外の加速度信号は肘付近に装着したセンサで検知できると考えられる. その考えに基づいて, 図 1 の構成の筆記インタフェース (以下, 筆記具と呼ぶ) を試作した. 2 個の 3 軸加速度センサ (ADXL335) を指先と前腕の肘付近に, A/D 変換用の基盤 (Arduino LilyPad) を手首に装着し, パソコンと有線 (USB) で接続する. サンプル周波数は 20Hz である.

加速度センサの向きは筆記具を装着する度に変わる恐れがあるので, 装着時には 2 つのセンサの向き合わせが必要となる. 筆記空間の座標系を x, y, z とし, 指先方向を y 軸, 水平方向を x 軸, 鉛直方向を z 軸とする. まず, 腕および指先を伸ばした状態で真下に向け, 3 秒間静止する. このときに加わる信号は重力加速度のみなので, その加速度の方向を指先方向 (y 軸) とする. その後, 腕を水平にして空中に指先で文字を書く. 1 文字の筆記の前後で静止する場合, 文字信号の平均加速度は 0 であり, 残りは重力加速度となる. この向きが z 軸となるように筆記面 (xz 面) を回転する. 車中で身体が揺れる場合, その加速度信号は 2 つのセンサに加わる. そこで指先のセンサの信号から前腕のセンサの信号を減算して, 文字の信号を抽出する.

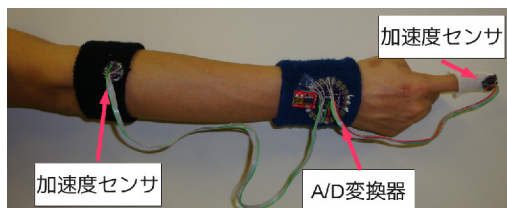


図 1: 文字入力インタフェースの装着図

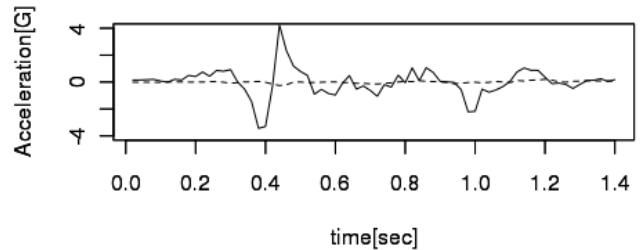


図 2: 走行中に筆記した「あ」の水平方向の加速度信号

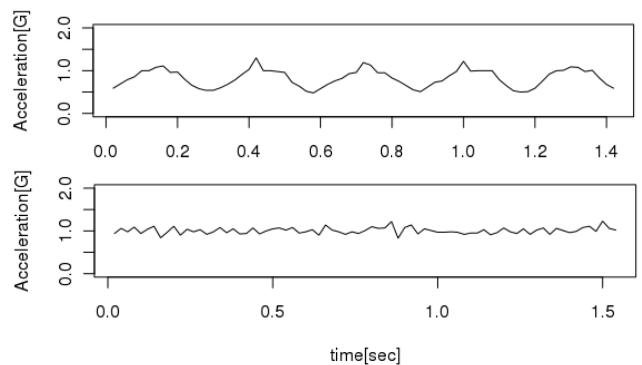


図 3: 歩行中 (上)・車内 (下) の鉛直方向の加速度信号

3. 実環境での筆記信号の分析

走行中の車の助手席に座り, ひらがな文字を筆記した. 車は一般道路を走行しており, 筆記の信号には発進, 停止, 右左折, 走行中の振動など, 筆記以外の加速が加わっている. 指先および前腕のセンサで取得した加速度信号の一例を図 2 に示す. サンプルは文字「あ」を筆記したものであり, x 軸方向の (すなわち車の横揺れを含む) 波形である. 実線は指先の加速度信号であり, 破線が前腕の加速度信号である. 前腕の加速度信号を観察すると, 振幅が小さく, 横揺れはほとんど無い.

比較のため, 文字を書かずに, 歩行中および走行する車内の鉛直方向の揺れを測定した. その一部が図 3 である. 歩行中に比べて, 車内の加速度信号は小さく, 認識に大きく影響しないと予想できる.

4. 走行中の空中手書き文字認識実験

データ収集は 1 名の筆者で行い, ひらがな 71 字種を 1 文字ずつ筆記したものを 1 セットとした. データは 3 回に分けて収集し, その都度車種を変更した. 車 A で 6 セット, 車 B で 8 セット, 車 C で 7 セットのデータを収集した.

これらのデータから以下の 2 種類の特徴量を抽出した. 指先の加速度信号をそのまま特徴量としたものを絶対加速度特徴量とし, 指先から前腕の加速度信号を減算したものを相対加速度特徴量とする. これらのいずれかの 3 次元特徴量を用

[†]富山県立大学, Toyama Prefectural University.

表 1: 実環境データを用いた場合の認識率 [%]

特徴量	センサ	認識率
相対加速度	指・腕	88.2
絶対加速度	指	88.2

表 2: 筆記外加速度を意図的に加えた場合の認識率 [%]

特徴量	センサ	認識率
相対加速度	指・腕	83.3
絶対加速度	指	50.2

いて、文字認識を行う。認識手法として、一筆書き文字 HMM (Hidden Markov Model) [1] を用いる。

4.1. 実環境の加速度の影響

実環境で観測される筆記以外の加速度信号が及ぼす影響を調査した。もし、影響が大きければ、絶対加速度特徴量での認識率は低下し、相対加速度特徴量で改善されると思われる。認識システムの学習には、車 B, C で収集した筆記データ 15 セットを用い、評価には車 A で収集した筆記データ 6 セットを用いた。それぞれの認識率は表 1 の通りであり、差は無い。車の加減速は非常に滑らかと思われ、筆記に大きく影響を及ぼさないことが分かった。しかし、426 サンプルの内訳を調べると、絶対加速度特徴量で認識できなかった 9 サンプルが相対加速度特徴量で認識できるようになっていた。おそらく、走行中でも急な加速が加わる場合があり、その場面で改善されたと思われる。また、逆に認識できなくなった文字も 9 サンプルあった。相対加速度特徴量はセンサの向き合わせの精度に大きく依存しており、そこに原因があると考えられる。

4.2. センサの座標系合わせに関する検討

2 つの加速度センサの向きが一致していない場合、相対加速度特徴量は大きく影響を受ける。装着時の指先方向 (y 軸) については静止状況下で合わせているので問題ないが、筆記面の鉛直方向 (z 軸) は 1 文字の筆記信号から推定している。そこで、重力加速度以外の方向に十分大きな筆記以外の加速度信号を加えて、鉛直方向 (z 軸) の推定に及ぼす影響を調べた。

新たな筆記外の加速度信号として、1 つのセンサを無造作に振ったデータを収集した。これを前節の実験データの指先と前腕に同一の信号を加算した。すなわち、鉛直方向の推定に影響が無ければ、完全に除去できる信号である。それぞれの特徴量を用いた場合の認識率を表 2 に示す。絶対加速度では認識率は大きく低下したが、相対加速度では認識率が改善した。しかし、表 1 の認識率には及ばなかった。つまり、筆記以外の加速度信号は鉛直方向の推定に影響を及ぼし、完全に除去できないことが分かった。改善策として、今後、角加速度センサや地磁気センサを用いて、加速度以外の情報の利用を検討したい。

4.3. SN 比と認識率の関係

空中手書き文字認識に影響を及ぼす SN 比の調査を行った。まず雑音として、筆記具を棒に固定し、平行移動した時の加速度信号を収集した。このとき、2 つのセンサの間隔は指先と肘の間の長さとした。これを 4.1 節で使用した走行車内の手書き

表 3: SN 比と認識率 [%] の関係

SN 比 [dB]	相対加速度	絶対加速度
-3.01	67.6	69.5
0.00	75.8	78.8
1.76	78.4	80.5
3.01	80.1	82.2

表 4: 平滑化による認識率 [%] (SN 比 3.01)

窓幅	相対加速度	絶対加速度
1	80.1	82.2
3	80.8	83.3
5	78.4	78.2

文字信号に加算し、シミュレーション実験で評価する。加算する信号は SN 比が $-3.01, 0, 1.76, 3.01$ [dB] となるように増幅した。その他の実験条件は、前節までと同じである。結果は表 3 の通りである。SN 比が低くなるにつれて、認識率は低下する。しかし、4.1 節で期待したようには認識率は改善しなかった。4.2 節で述べたように、筆記面の向き合わせに問題があると思われる。

4.4. センサの個体差による影響の除去

センサには個体差があり、仮に指先と前腕に同じ加速が加わったとしても、同じように検知できるとは限らない。相対加速度特徴量では 2 つの信号が近い程、わずかな差で正負が反転し、零を交差する高周波な信号となる。そこで、移動平均を用いて加速度信号を平滑化する。実験には前節の SN 比 3.01 dB の場合のデータを使用した。平滑化の窓幅は分析点の前後を合わせて 1 (平滑化なし), 3, 5 の 3 通りを比較した。それぞれの認識率を表 4 に示す。窓幅 1 に比べて、窓幅 3 では改善するが、窓幅 5 では認識率が低下した。今回の文字信号のサンプリング周波数は 20 Hz であり、窓幅 5 は大き過ぎるのかもしれない。

5. まとめ

実環境下での空中手書き入力インタフェースを試作し、文字認識実験を通して評価した。想定していた日常行動中の加速度信号は、筆記の加速度と比べて小さく、文字認識には大きく影響を及ぼさないことが分かった。一方で、大きな筆記外加速度が加わった場合に、それらを除去する上で、提案手法に問題点があることも調査によって分かった。今回は比較的定常な筆記外加速度が加わった場合で評価したが、今後は、非定常な、あるいは突発的な信号が加わった場合について検討する予定である。

参考文献

- [1] 中井, 米沢, “加速度センサを用いた空中手書き文字認識,” 情報科学技術フォーラム (FIT) (2009-9)