

筆記の向きや筆記具の持ち方が自由な空中手書き文字認識

Writing Surface-free and Pen Holding Style-free Aerial Handwritten Character Recognition

中井 満[†] 草島 広志[‡]
Mitsuru Nakai Hiroshi Kusajima

1. はじめに

加速度センサを利用して、空中に書く動作からその文字を認識する研究が行われている [1, 2]. 我々は、ユーザの負担が少ない自然な書き方を目指しており、画の on/off の操作をしない一筆書きで [3], 空間の自由な面に向かって筆記した文字を認識した [4]. ただし、筆記具の持ち方を指定し、センサを回転して持つことは想定していなかった. 握りやすいペン型であればよいが、センサを身に付ける型であれば位置ずれや回転の問題が生じる. そこで本報では自由な向きに自由な持ち方で書ける空中手書き文字認識手法を提案する.

2. 空中手書き文字認識システムの構成

2.1 手書き文字信号の取得

3 軸加速度センサを内蔵する筆記具を用いる. 本研究では、Nintendo Wii のリモコンを使用した. これを持ち、手首を振って空中に文字を書く動作の加速度信号を無線でパソコンに送信し、10 ミリ秒間隔でサンプリングする. なお、自然な書き方となるようにボタン操作は使わない. 短時間の加速度の変化量が閾値を超えた時刻を書き始めとし、閾値以下の状態が一定時間続いた時刻を書き終わりとする. 図 1 は筆記のイメージであり、加速度信号を 2 回積分して得られる空間の軌跡から一筆書きした「あ」の文字が読める. ただし、筆跡を正しく再現するのは難しいので、認識の特徴量には加速度を用いる. 文字を書く勢いは書く度に変わると考えられるので、1 文字毎に加速度の大きさの平均によってスケールの正規化を行う.

2.2 主成分分析を用いた筆記面推定

空中に筆記する場合でも文字はある平面に書かれると考えられ、2 次元の特徴量で十分であるという結果が得られている [3]. しかし、自由な持ち方の場合はセンサの 3 軸のどれが筆記面に相当するか分からない. そこで、1 文字筆記した加速

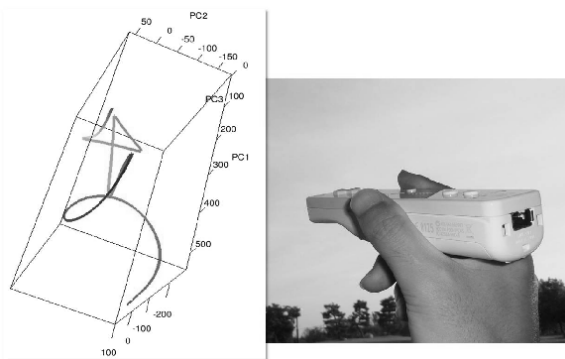
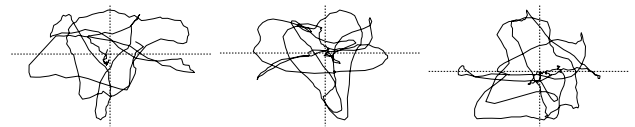


図 1: 空中手書き



(a) サンプル#1 (b) サンプル#2 (c) サンプル#3
図 2: KL 展開後の加速度信号 (いずれも文字「あ」のサンプル)

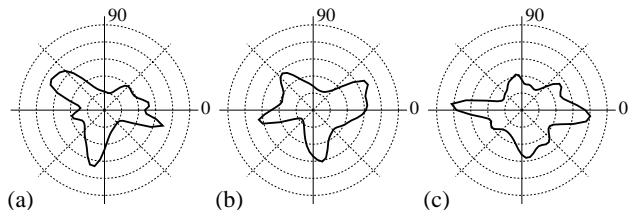


図 3: 加速度方向ヒストグラム (図 2 のサンプルに対応)

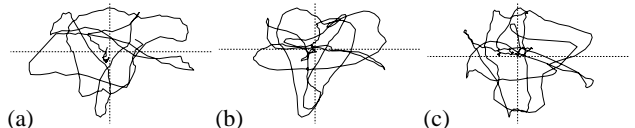


図 4: 反転・回転補正後の加速度信号 (図 2 のサンプルに対応)

度の分布空間を主成分分析し、分散が最大となる面を筆記面と推定する [1, 4]. 図 2 は筆記中の加速度の時系列信号を筆記面に KL 展開した結果である. 横軸が第 1 主軸、縦軸が第 2 主軸である. 3 つのサンプル (a)~(c) はいずれも「あ」を筆記した信号であるが、(a) に比べて (b) は左右が反転している. また、(c) はおよそ 180 度回転した形になっている. さらに、同じ文字であっても書き方によっては第 1 軸と第 2 軸が逆になることもある. これらのことは先行研究 [1] でも指摘されており、認識率の低下を招く原因になる.

2.3 加速度方向ヒストグラムを用いた反転と回転

回転した文字を認識する手法として、回転した複数通りのモデル (参照パターン) を用意する手法 [5] も試みたが、低画数の文字では回転によって他の文字に (加速度信号レベルで) 似てしまうことも少なくない. そこで、認識の前処理で回転補正をする. ここでは新たな特徴量として加速度方向ヒストグラムを提案する. 時刻 t における加速度の大きさが r_t 、第 1 主軸との成す角が θ_t のとき、その時刻の加速度方向の頻度分布を平均 θ_t 、標準偏差 α/r_t の 2π 周期の正規分布 $N(\theta_t, \alpha/r_t)$ で近似する. すなわち、加速度が大きい程、その向きの頻度が

[†] 富山県立大学, Toyama Prefectural University.[‡] 富山県立大学卒業生.

高くなるような連続な分布を考える．これを書き始めから書き終わりまで加算した，

$$H(\theta) = \sum_t N(\theta_t, \alpha/r_t)$$

をその文字サンプルの加速度方向ヒストグラムとする．ここで α の値は経験的に 10 とした．図 2 の各サンプルの加速度方向ヒストグラム(ポーラーチャート)を図 3 に示す．中心からの方向を θ として距離が $H(\theta)$ である．

同じ文字種ではヒストグラムの形状は似ていると考えられる．そこで，これらのヒストグラムを回転し，相関が最大となる角度を 2 つの文字サンプルの向きの角度差と推定する．また，第 1 主軸の左右を反転して回転した方が相関が高い場合は，2 つのサンプルは互いに反転していると判断する．図 3 の (a) を基準とすると，(b) は反転して -5° 回転したときに，(c) は反転せずに -160° 回転したときに相関が最大となった．この結果に従って，図 2 を反転・回転した信号が図 4 である．文字の向きが揃っていることが確認できる．

2.4 学習と認識

認識には隠れマルコフモデル(HMM)を用いる [3, 4]．まず，学習サンプルの向きを揃えるために基準となる加速度方向ヒストグラムを作成する．本研究では基準ヒストグラムとして次の 2 通りの方法を検討した．

(手法 1) 共通ヒストグラム：全ての学習サンプルのヒストグラムを加算平均し，全字種共通の基準ヒストグラムを作成する．なお，全学習サンプルの向きを揃えるためにも基準ヒストグラムを使用する．すなわち，あるサンプルを初期基準ヒストグラムとして学習を開始し，これが収束するまで反復学習する．

(手法 2) 字種別ヒストグラム：字種毎に全ての学習サンプルのヒストグラムを加算平均し，字種別の基準ヒストグラムを作成する．共通ヒストグラムと同様に反復学習を要する．

以上のいずれかの手法で向きを揃えたサンプルを用いて HMM を学習する．先行研究 [3] では画単位で HMM を学習し，文字を画の連結でモデル化していたが，本研究では文字単位の HMM を使用する．理由は，同じ字種のサンプル(例えば「あ」と「あ」)の向きを揃えることができても，異なる字種のサンプル(例えば「あ」と「お」)の向きが揃うという保証はないからである．

認識の過程でも同様に，未知の観測パターンに対して筆記面の反転および回転の処理をし，観測信号と HMM を同じ向きにする．その後，各々の文字 HMM で尤度計算を行い，尤度が最大となる文字種を認識結果とする．字種別ヒストグラムの場合は観測パターンをそれぞれの字種と仮定して回転し，仮定した字種の HMM で尤度計算を行う．なお，観測パターンの時間に同期して効率良く最尤経路を探索する場合は，観測パターンを反転・回転する代わりに各 HMM の出力確率分布を反転・回転すればよい．

3. 自由な持ち方で筆記した空中手書き文字認識実験

自由な向き(壁向き，床向き，天井向き)に筆記した文字の認識実験については既に報告した [4]．本稿では壁向きに書き

表 1: 補正処理の有無による文字認識率 [%] : × は補正しない，は提案法で補正した場合，は正しく補正した場合．

補正処理			加速度方向ヒストグラム	
KL 展開	反転	回転	共通	字種別
×	×	×	25.6	
	×	×	42.5	
	×		48.2	52.7
			59.7	70.7
			69.5	81.6
			91.1	

たサンプルを使用した，自由な持ち方のシミュレーション実験の結果を報告する．認識文字種は平仮名 71 字種とし，サンプルは各 20 文字ずつ用意した．筆記具の持ち方が回転していることを模擬するため，サンプル毎に 3 軸にランダムな回転を加えた．学習には各字種 15 文字を，評価用には残りの 5 文字を使用した．加速度方向ヒストグラムは 5 度刻みで離散化し，回転角の推定も 5 度単位とした．

各々の補正処理の効果について，表 1 にまとめた．表中の「 \times 」は提案法によって自動処理した場合，「 \times 」は反転や回転の推定が正しくできた場合の認識性能を示している．まず，筆記面に KL 展開しただけでは認識率は低く，反転および回転の処理を加えるにつれて認識率が大きく改善した．また，全字種で共通の基準ヒストグラムを用いるよりも，字種別に作成した方が認識率が高く，字種毎に形状の異なる特徴量であることが確認できた．結果として提案法による認識率は 70.7% であった．模擬データなので正しい文字の向きは分かっている．もし，全ての反転が正しく検出できていれば 81.6%，全ての文字の向きが揃っていれば 91.1% の認識率になるという結果も得られた．

4. まとめ

主成分分析による筆記面推定と，加速度方向ヒストグラムによる筆記面回転を組み合わせることで，どのような向きにどのような持ち方で書いても認識できるようになった．ただし，認識率の向上の余地があり，反転の検出と回転角の推定には更なる改善が必要である．また，字種別ヒストグラムでは回転角の推定に字種分の時間を要するので，今後，クラスタリングによる基準ヒストグラム数の削減を検討する．

謝辞 本研究は科研費(24500151)の助成を受けたものである．

参考文献

- [1] Sung-Do Choi et al., "On-Line Handwritten Character Recognition with 3D Accelerometer," Int'l Conf. on Information Acquisition (2006-10)
- [2] 江崎, 杉本, 清田, 山本, "加速度情報を用いた空書文字の認識," MIRU2010 (2010-7)
- [3] 中井, 米澤, "加速度センサを用いた空中手書き文字認識," FIT2009 (2009-9)
- [4] 中井, 長井, "筆記面が自由な空中手書き文字認識," FIT2011 (2011-9)
- [5] 秋良, 中井, 他, "ストローク HMM を用いたオンライン非目視手書き文字認識の性能評価," 信学技報 PRMU (2001-3)