

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：53901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23501194

研究課題名(和文) パターンの多次元分布を可視化する理解促進教育用文字認識システム

研究課題名(英文) Educational Character Recognition System Implementing an Interactive Visualization of Multi-Dimensional Distribution

研究代表者

竹下 鉄夫 (TAKESHITA, Tetsuo)

豊田工業高等専門学校・情報工学科・教授

研究者番号：20149933

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：パターン認識システムでは多次元ベクトルデータが用いられるが、学習者にとって多次元分布を直感的に理解する事は容易でない。本研究では、教育の目的のためパターンの分布を直感的で視覚的に理解できるような文字認識システムを構築した。主成分分析を適用する事で、多次元ベクトルを主要な三次元に集約し、各カテゴリーについて、等確率の楕円体を表示する事でカテゴリーを判別する原理を可視化することに成功した。作成したシステムは、インタラクティブに三次元空間を回転・拡大・移動ができ、パターンの分布を理解しやすく、パターン分類に関する興味を深める事ができる。

研究成果の概要(英文)：We propose visualizing multi-dimensional distribution used in pattern recognition system and construct an educational visualization system for multi-dimensional space which stimulates intuitive and visual understanding of pattern distribution. We treat the method of visualizing the multi-dimensional vectors of each character on the handwritten digit recognition system. By applying principal component analysis, the original vectors are converted into the principal components. Ellipsoids of equal probability for each category are derived and visualized in the three-dimensional space shown in the visualization system. As a result, the boundary surfaces of each distribution of categories can be seen easily in the reduced three-dimensional space in spite of the fact that the visualized distributions do not represent all vectors. In conclusion, learners of pattern recognition can be stimulated their interest and comprehension of multi-dimensional distribution using this system.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学

 キーワード：教材情報システム ヒューマン・インタフェース メディア教育 コンピュータ・リテラシー パター
ン認識 文字認識 主成分分析

1. 研究開始当初の背景

パターン認識技術を学習する際、「文字認識システム」は(1)結果の良否が正読・誤読といったわかりやすい形式で評価できること。(2)人工知能関連の分野の中では、技術進歩が著しく、かなり人間に近い性能を実現できていること。(3)マウスやタブレットといった汎用的な入力装置を使うことにより、簡便に実験ができること。などから、いくつかの「文字認識システム」が作成され、そのうちいくつかはWebページにて、公開されている。しかしながら、それらは、いずれもコンピュータにより自動的に文字認識ができることをアピールすることを主たる目的として、どのような仕組みで「文字認識」が達成しているかを、わかりやすく解説しているものは、後に述べる筆者等のシステムを除くと、ほとんど存在しない。

さらに、文字認識を構成する大きな要素に、「特徴抽出」と「パターン判別」がある。この二つを区別して学習者に、処理のプロセスを提示すべきであるが、後に述べる筆者等のシステムにおいても、「特徴抽出」のプロセスは可視化を実現し学習者に提示しているが、「パターン判別」のからくりを提示しているシステムは筆者の知る限り、存在しない。

2. 研究の目的

パターン認識技術このような現状を踏まえて、本研究においては、「手書き文字の特徴パターン」を判別している様子を、学習者に理解できるように、多次元パターンの分布について可視化表示を実現しようとするものである。多次元分布の解析といった、難しい数学的処理を経ないで、直感的にパターン判別に関する原理が理解できるようなシステムの構築を目指す。作成するシステムは、その成果をWeb等を通じて広く公開することを意図しプログラミング言語Javaを用いて開発する。

3. 研究の方法

本研究においては、手書き文字認識手法に対する学習支援システムの構築・評価を行ってきた。本研究で用いた「加重方向指数ヒストグラム法」による文字認識画面を図1に示す。図1の4×4のマスの目の中に縦・横・斜めの4つの半直線によって表現されたものが64次元の加重方向指数ヒストグラムを示している。このような多次元の特徴量の成分を一つ一つ比較するだけでも困難である上に、文字認識においては大量の辞書データを持つヒストグラムとユーザ入力を全て比較する必要がある。そこで、「0」から「9」の各数字のサンプルの集合(辞書データ)に対するユーザが入力した数字の類似度を直感的にわかりやすく視認できるように可視化する手法を考える。

3.1 散布図による可視化

当初、64次元のデータについて主成分分析

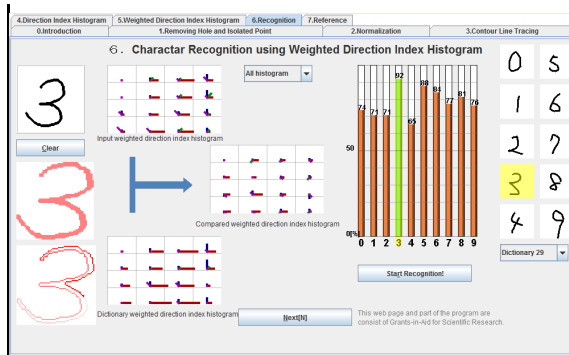


図 1. 教育用手書き数字認識システム

を行い、得られた主成分スコアのうち第3主成分までを抽出、3次元空間上に散布図としてプロットしたものを図2に示す。図2の画面は「3」の手書き数字の特徴空間を表示しており、赤い点が「3」の特徴分布、黄色い点が「2」の(「3」の空間上での)特徴分布である。また紫色の点がユーザ入力した文字を示している。これを見ればわかるように、同じカテゴリーに属するデータは空間上のある場所に固まって分布している。しかし、このようにただ点をプロットしただけでは、「2」と「3」のカテゴリーの境界を視認しづらい。さらに、このシステムで同時にプロットできる手書き数字の分布は最大で2つであり、複数のカテゴリーに属するデータの比較を行うことができない。

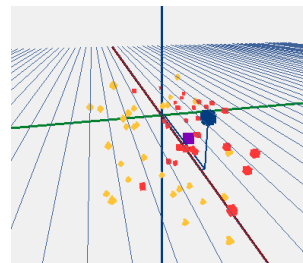


図 2. 散布図による可視化

3.2 等確率楕円体による可視化

プロトタイプシステムでは特徴量を散布図として表現していたため、それぞれの特徴量の比較はできても、前述したような問題が発生してしまっていた。そこで、各特徴量の分布の可視化を「点」ではなく、群ごとの等確率楕円体の表示によって可視化することを試みた。これにより、ユーザが入力した手書き数字が全ての数字の群のうちどれに最も近いかをより視覚的にわかりやすく表現できるようになった。

4. 研究成果

産業技術総合研究所より提供されているETL6を用いて1つのカテゴリーにつき1383個のサンプルを用意し、それぞれの加重方向指数ヒストグラムを取得、これを64次元特徴量として用いた。この特徴量から数字ごとに主成分分析を行い、特徴空間を得る。それらに対して全ての特徴量を射影し、第1~3成分のみを抽出することで、「0」から「9」

の計 10 個の特徴空間に対する各数字の 3 次元分布を得た(これをそのまま 3 次元空間にプロットしたものが図 2 である)。新たに得られた 3 次元の特徴量について、各成分の度数分布を調べたところ、図 3 のようなヒストグラムとなり、これは正規分布に近いことがわかる(図は「0」の空間上の「0」の第一成分)。

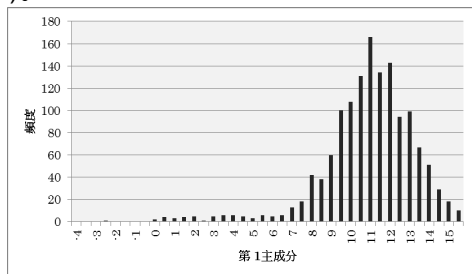


図 3. 「0」の第 1 主成分のヒストグラム

特徴量が多次元正規分布に基づくと仮定すると、楕円体の表面の軌跡は次の二次形式で表される。

$$(x - \mu)^t \Sigma^{-1} (x - \mu) \quad (1)$$

ここで、 x は楕円面上の任意のベクトル、 μ は特徴量の平均ベクトルである。また、 Σ は 3 次元特徴量の分散共分散行列である。

式(1)を数字ごとに求め、特徴空間上に表示させた。これを図 4 に示す。図 4 は「0」の特徴空間における各数字の 95%信頼楕円体を表示している。この図では全てのカテゴリの楕円体を表示しているが、ある特定の数字に限定して楕円体を表示し、異なるカテゴリ間の分布の形状を理解することもできる。図 4 の画面はマウスのドラッグによってユーザが自由に視点の回転や拡大・縮小を行うことができる。

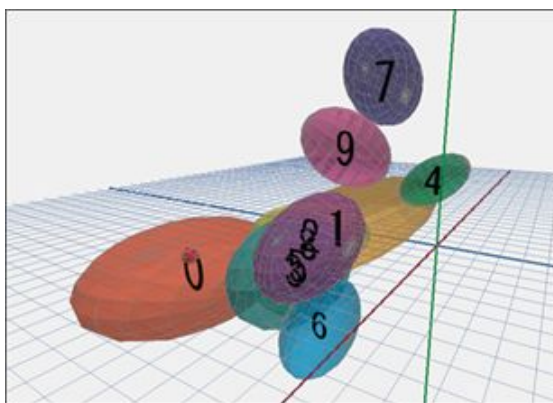


図 4 等確率楕円体による可視化

作成したシステムを利用することにより

- 1) タブレットであれば指先を用いて自然な感覚で、PC の場合はマウスを使って自分で数字を入力することができる。
- 2) 入力した数字について、標本化、正規化等の前処理を行い、特徴抽出過程を提示することができる。
- 3) 特徴抽出した特徴ベクトルを視覚的に表示することができる。

4) 入力した文字パターンの特徴ベクトルを用いて、認識を行い、その結果を表示する。そのとき、各カテゴリについて入力パターンからの距離を提示する。

5) 入力パターンの特徴ベクトルが各カテゴリの特徴空間内のどこに位置するのかを等確率楕円体と共にプロットする。

6) 必要ならば、カテゴリの選択をして特徴空間内の位置を明確にする。

7) さらに、特徴空間を明示するため、3 次元空間の回転や拡大・縮小を行う。

これらの操作により、学習者にとって特徴空間を直感的に把握することができる。

本研究を通じて

1) 学習者にとって、文字認識のプロセスを正しく理解するために必要なプロセスを視覚的に提示することができるようになった。

2) 初心者にとって、必ずしも理解が容易ではない判別に関する理論を、可視化の技術を用いる事により、より簡便に理解させる事ができた。

3) 特徴ベクトルは、極めて高次元の特徴量であるが、判別に必要な次元はそのうち、寄与率が高く、カテゴリを分離するのに必要な部分空間に限られていることを、直感的に理解させることができる。

4) 学習者にとって、その有用性がなかなか理解しづらい「線形数学」について、身の回りにある素材を用いて、説明しやすいテーマであり、研究室配属時の入門教育に役に立つ。

次のような機会を通じて本研究の成果を広く PR した。

1) 国際会議「5th International Symposium on advances in Technology Education」, 「15th International Conference on Human - Computer Interaction 2013」においてデモ等を通じて作成したシステムについて報告し、国際的な PR をした。

2) 全国高専教育フォーラムやシンポジウムにおいて、システムの原理や教育効果の報告をし、関係者等との討論を通じて、Web の URL を公開し、PR できた。

3) 教育工学に関する雑誌論文に掲載され、教育工学に興味を持つ関係者に PR することができた。

4) 学校見学会等の学校公開時に、来校者が自由に本システムを使えるよう環境を整えて公開したところ、入力インタフェースの装置も含めて大変好評であった。

研究をすることによって、さらに

1) 多次元空間上の点から文字を生成する逆問題。

2) 各カテゴリの境界付近の字形を生成し、これを視覚的に提示し、文字の認識率をより高めるための知見を追求する。

3) 高い認識率を競うゲーム性を考慮した学習プログラムの開発、
など課題があることも判明した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1件)

竹下鉄夫, 江崎信行: 文字認識システムを用いた専門導入教育の実施例, 計測自動制御学会中部支部教育工学研究委員会教育工学論文集, 査読有, Vol.36, pp.47-49(2013.12)

〔学会発表〕(計 8件)

Nobuyuki Esaki, Ryutaro Hisada and Tetsuo Takeshita, Educational multidimensional pattern recognition system using principal component analysis, 5th International Symposium on advances in Technology Education, p.119, Singapore (2011.9)

久田隆太郎, 竹下鉄夫, 江崎信行: 文字認識システムにおける主成分分析を用いた多次元パターン分布の可視化, 第17回高専シンポジウム in 熊本, 講演要旨集, p.120, SC02(熊本)(2012.1.崇城大学)

竹下鉄夫, 江崎信行: 専門導入教育における文字認識システムの試み, 平成24年度全国高専教育フォーラム, 国立高等専門学校機構平成24年度教育教員研究集会(2012.8.国立オリンピック記念青少年総合センター)

江崎信行, 青木智彦, 竹下鉄夫: RoboCupサッカーシミュレーションリーグにおける人間参加型システムの3次元表示ソフトウェアの開発, 日本フットボール学会 10th Congress(2012.12.国立スポーツ科学センター)

山本健寛, 竹下鉄夫, 江崎信行: 多次元特徴分布の可視化を実現した教育用手書き数字認識システム, 情報処理学会第75回全国大会, 2T-6, 2-pp.453-454(2013.03.東北大学)

Takehiro Yamamoto, Nobuyuki Esaki, Tetsuo Takeshita, Educational Character Recognition System Implementing an Interactive Visualization of Multi-Dimensional Distribution, HCI International 2013 Las Vegas (2013.7.The Mirage Hotel)

竹下鉄夫, 江崎信行: 多次元分布を可視化する理解促進教育用文字認識システム, 平成25年度全国高専教育フォーラム, 国立高等専門学校機構平成25年度教育教員研究集会(2013.8.豊橋技術科学大学)

竹下鉄夫, 江崎信行: 文字認識システムを用いた専門導入教育の実施例, 計測自動制御学会中部支部, 教育工学研究会(2013.09.大同大学)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

全体として大きなシステムとなってしまうので, 初級・中級編と上級編とに分離した。初級・中級編には, 和文も用意されている。

初級・中級編(和文)

http://www.ice.toyota-ct.ac.jp/experience/digit_recognition/

初級・中級編(英文)

http://www.ice.toyota-ct.ac.jp/experience/Learning_Character_Recognition2012/

上級編(英文)

<http://www.ice.toyota-ct.ac.jp/experience/NCRforSenior/>

最後のシステムは容量が大きいため, 速度の遅い回線では利用する際, 注意が必要である。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹下鉄夫(TAKESHITA, Tetsuo) 豊田工業高等専門学校・情報工学科・教授

研究者番号: 20149933

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者

江崎信行(EDSKI, Nobuyuki) 豊田工業高等専門学校・情報工学科・准教授

研究者番号: 80311033