様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成２１年６月２２日現在

研究種目：若手研究（Ｂ）
研究期間：2007～2008
課題番号：19700187
研究課題名（和文）　錐によるパターン識別方法に関する研究

研究課題名（英文）　A Study on Pattern Classification by Cone

研究代表者
小林 匠（KOBAYASHI TAKUMI）
独立行政法人産業技術総合研究所・情報技術研究部門・研究員
研究者番号：30443188

研究成果の概要：一般にパターン認識では,特徴ベクトルは加法的な変動を受けることが多く、そのような性質を持つ分布は原点を頂点とする錐として表現される。そこで，新たなパターン識別方法として錐による識別手法を提案した。提案手法では、錐の方向に沿った特徴ベクトルの広い変動を許容する一方で、原点周りの広がりを錐により精度よく近似することで識別性能の向上が図られる。また、設定すべきパラメータも少ない。さらに分布の多峰性に対応するために、新たなクラスタリング手法も提案した。認識実験により、提案手法の有効性を示した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
2007 年度	1,300,000	0	1,300,000
2008 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総　計	1,900,000	180,000	2,080,000

研究分野：パターン認識
科研費の分科・細目：情報学　知覚情報処理・知能ロボティクス（A）
キーワード：パターン識別・画像認識・部分空間法・錐・カーネル法

１．研究開始当初の背景

(1) 情報装置及び情報基盤の発展により流通する情報が増大している。そのため、人々が多量の情報を効率的に処理できるよう、認識処理を計算機で実現し支援する技術、つまりパターン認識技術が必要となる。

(2) パターン識別方法として、従来から部分空間法が広く適用され、その有効性も示されている。部分空間法では、パターン分布を線形（部分）空間で表現、つまり近似することにより、パターンの識別を行っている。

(3) しかし、そのような線形空間ではパターン分布の近似表現としては荒いと考えられる。さらに､その線形空間の次元の設定を適切に行い、近似の程度を調整する必要がある等の問題がある。

２．研究の目的

(1) パターン分布をより良く近似する新たな部分空間による識別方法を開発する。

(2) 新たな部分空間は原点を頂点とする錐（cone）として表現され、従来の線形部分空間に比べて、パターン分布の近似精度を向上させる。これは、多くのパターン（特徴）ベクトルは特定のパターンベクトルの“足し算”としてその変動が記述されるため、分布の性質を自然に表現している。

(3) 錐による表現では、原点周りの広がりを精度よく近似するため、部分空間法と異なり次元の設定が容易（不要）となる。

３．研究の方法

(1) 錐によるパターン識別の理論を構築する。錐は数式では以下のように表される。

$$K = \{\mathbf{x} = \mathbf{\Omega}\boldsymbol{\alpha} \,|\, \mathbf{x} \in \mathbf{R}^d,\ \mathbf{\Omega} = [\xi_1 \cdots \xi_q],\ \boldsymbol{\alpha} \in \mathbf{R}^q, \boldsymbol{\alpha} \geq \mathbf{0}\}$$

ここで q はサンプル数、ξ は基底ベクトル、α は結合係数である。ここでは結合係数 α が非負の制約を持つことが特長となっている。この表現に基づいて、３つの錐表現を定義する。入力パターンベクトルの識別には、ここで定義した錐との角度を用いる。

①１つ目は厳密な凸錐である。ここでは、サンプル分布の張る凸錐の本質的な基底を厳密に求める。図１に示される赤矢印が凸錐の基底ベクトルを示す。具体的には leave-one-out 法により基底ベクトルをサンプル集合の中から探索する。

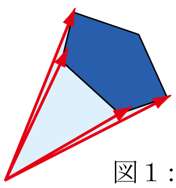

図１：凸錐と基底ベクトル（赤矢印）

②２つ目は包括的な近似凸錐である。ここでは、サンプル分布を包括的に近似するような凸錐の基底ベクトルを求める。この近似凸錐は少ない基底ベクトルを有することが特長である。ここでは、主成分分析を用いることで、包括的凸錐（図２）を構成する基底ベクトルを求める。

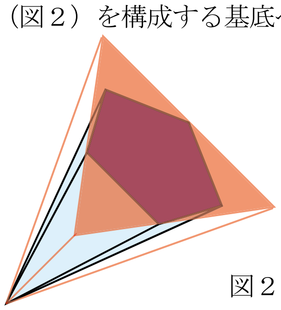

図２：包括的凸錐

③３つ目は円錐である。ここでは、サンプル分布を近似するような円錐を求める。円錐による表現は、その方向ベクトル（μ）と広がり（θ）のみにより簡潔に記述されるため（図３）、識別にかかる計算量が少ない（線形演算のみ）という特長がある。また、前処理として、主成分分析による白色化を行う。

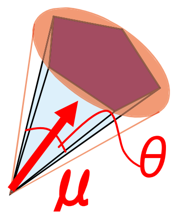

図３：円錐

④上記３つの錐の性質をまとめると以下のような関係になる。

<table>
<tr><th>錐</th><th>近似精度</th><th>計算量</th></tr>
<tr><td>厳密な凸錐</td><td rowspan="3">高精度</td><td rowspan="3">小</td></tr>
<tr><td>包括近似凸錐</td></tr>
<tr><td>円錐</td></tr>
</table>

これらの手法は、近似精度と計算量においてトレードオフの関係にある。

(2) 上記(1)はパターン分布を単峰と仮定して１つの錐として表現（近似）する手法であるが、一般に分布は多峰であることも多い。そのため、パターン分布をクラスタリングにより、複数の単峰へ分割し、それぞれで錐による識別を行う。ここでは、各単峰が錐構造を成す必要があるため、一般のベクトル空間のクラスタリング手法を適用することは適切ではない。そのため、多峰のクラスタリング手法として、von Mises-Fisher 分布を用いた、von Mises-Fisher Mean Shift 法を提案する。錐を超球面上での von Mises-Fisher 分布（＝球面上の正規分布とも言及されている分布）と仮定し、サンプルにより定まる確率密度分布から、各錐に属するサンプル群をクラスタリングする。提案手法では Mean Shift の枠組みを用いることで、事前にクラスタ数を定める必要がなく、自動的にクラスタ数も求まる点が特長となる。

(3) 上記(1,2)の手法を、カーネル関数を用いて非線形空間へと拡張し、カーネル錐の手法を提案する。上述の錐に基づく手法ではサンプル間の内積のみで規定されているため、その内積をカーネル関数に置き換える（カーネルトリック）ことで容易に非線形手法へと拡張することができる。但し、元のパターン空間においてはその線形性（特に加法性）により、自然に錐構造が導出されたが、ここでのカーネル非線形空間では必ずしもそのような線形性が成り立たず、カーネル錐の有効性は実験において確認する必要がある。

４．研究成果

(1) 錐によるパターン識別方法の有効性を示すため、人検出のための人/非人の識別実験を行った。図４はその識別結果であり、Receiver Operator Characteristic (ROC)カーブを示している。ROC カーブにおいてはグラフが左上へ凸性を示すほど高性能であると判断される。

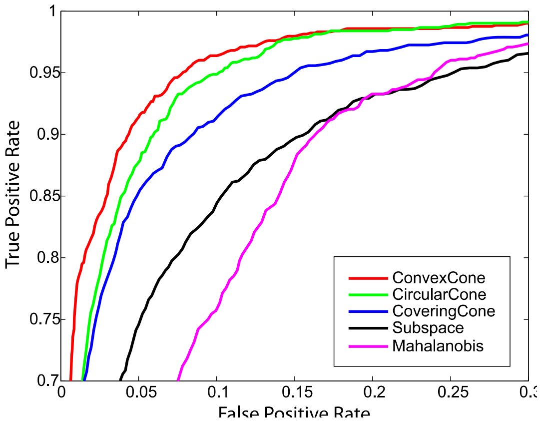

図４：人/非人の識別結果

ここでは、比較として部分空間法(Subspace)、マハラノビス距離に基づく手法(Mahalanobis)も適用した。図４を見ると、提案した３つの錐による識別手法（厳密凸錐（Convex Cone）、包括的近似凸錐（Covering Cone）、円錐（Circular Cone））はこれら従来手法を凌駕しており、その有効性が示されている。特に、円錐においてはその計算量が少ない（部分空間法と変わらない）にもかかわらず、厳密凸錐に近い性能を出しているため、大規模データ等への使用により適していると言える。

(2) 上記(1)の実験において、部分空間の次元による誤識別率の変動を図５に示す。厳密凸錐では次元の設定は不要であるが、近似凸錐（Covering Cone）及び円錐（Circular Cone）では主成分分析を用いているため、次元の設定を行う。

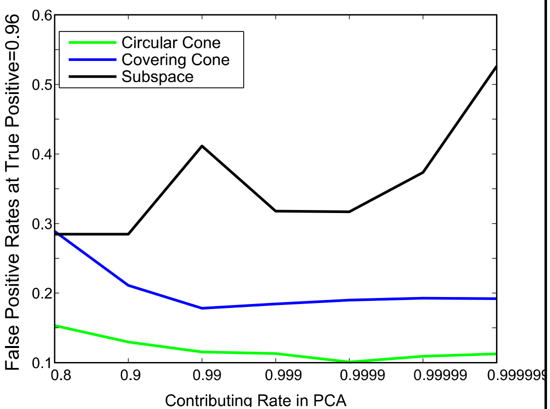

図５：次元を変えた場合の誤識別率

横軸は部分空間の累積寄与率を表し、寄与率が大きい程高次元の部分空間となる。部分空間法（Subspace）では、その次元設定が識別率に大きな影響を与えているが、錐に基づく提案手法では、ある程度以上の高い次元では、次元の設定が識別率にほとんど影響を与えていないことが分かる。そのため、ある程度高い次元をとれば、十分な性能が得られるため、次元の設定は容易（ほぼ不要）となる。

(3) 上記実験における、クラスタリングによる効果を図６に示す。

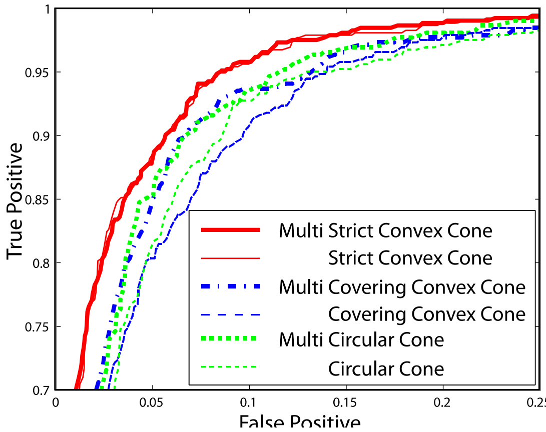

図６：クラスタリングを適用した場合の識別結果

厳密な凸錐（Strict Convex Cone）の場合を除くと、クラスタリグを適用した手法（Multi～）で識別率が向上している。そのため、提案したクラスタリング手法も有効に働くと言える。

(4) カーネル法を用いたカーネル錐による識別方法を適用した結果を図７に示す。

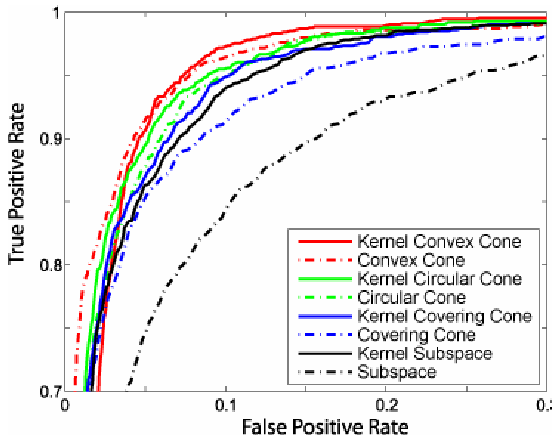

図７：カーネル錐による識別結果

カーネル錐(Kernel～)を適用することにより、若干の性能向上が確認できるが、その効果はわずかである。そのため、計算量の観点から線形の錐を適用することで十分であると言える。これは、非線形空間内では必ずしもパターンベクトルが錐形状を成していないことによるものと考えられ、パターン分布の形状をよりよく捉えることで線形手法でも十分な性能が得られるという興味深い結果となっている。

５．主な発表論文等
（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計　１件）
①小林匠、大津展之、パターン識別のための錐制約部分空間法、電子情報通信学会論文誌(D)、Vol. J92-D、No. 1、pp. 104-111、2009. 査読有

〔学会発表〕（計　２件）
①T. Kobayashi、N. Otsu、Cone-Restricted Subspace Methods、Proc. International Conference on Pattern Recognition (ICPR)、2008/12/8.
②小林匠、大津展之、錘に基づくパターン識別方法、電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会、2008年3月11日.

６．研究組織
(1)研究代表者
小林　匠　(KOBAYASHI TAKUMI)
独立行政法人産業技術総合研究所・情報技術研究部門・研究員
研究者番号：30443188

(2)研究分担者

(3)連携研究者

(4)研究協力者
大津　展之　(OTSU NOBUYUKI)
独立行政法人産業技術総合研究所・フェロー