

平成22年 5月24日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19300064

研究課題名（和文） 識別学習の体系化と汎用的手法の実現に関する研究

研究課題名（英文） SYSTEMATIZATION AND GENERALIZATION OF DISCRIMINATIVE TRAINING

研究代表者

片桐 滋 (KATAGIRI SHIGERU)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：40396114

研究成果の概要（和文）：誤分類測度と関数マージンとの等価性を軸とした識別学習法の体系化と、分類結果間の相違尺度に着目した微視的あるいは巨視的分類単位に対する識別学習の体系化を行った。また、一般形の判別関数のための幾何マージンを導出し、さらにその幾何マージンを誤分類測度とする新しい最小分類誤り学習法や、弱分類器の学習を段階的に組み上げていく逐次増加型最小分類誤り学習法も開発した。成果は識別学習ソフトウェア「DISCERN」に盛り込まれている。

研究成果の概要（英文）：The systematization of discriminative training methods was conducted based on equivalence between misclassification measure and functional margin and on a unified formalization of microscopic- and macroscopic-unit classification. In addition, a geometric margin was derived for a general class of discriminant functions, and a new MCE method was developed by employing the geometric margin as the misclassification measure. The incremental-MCE method was also formalized that consisted of stepwise MCE training for the elemental weak classifiers. The results were implemented in educational software named DISCERN.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2008年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2009年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
年度			
年度			
総計	13,700,000	4,110,000	17,810,000

研究分野：総合領域

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

キーワード：一般化確率的降下法、最小分類誤り学習法、識別学習、パターン認識、サポートベクタマシン、ブースティング

1. 研究開始当初の背景

識別学習法とは、設計段階において実際に

設計用（学習用）標本を分類し、その分類結果を何らかの目標関数（損失）を用いて評価し、その評価結果を設計に反映することで効率よく高い分類能力の達成を目指すパターン分類のためのクラスモデル設計法である。目標関数やモデル更新手続きの選択に基づき、様々な実装が可能である。その中で、1990年代初期に、分類誤り数を平滑な（クラスモデルに関して微分可能な）関数形式で置き換えた最小分類誤り（MCE: Minimum Classification Error）学習法^{（注1）}が提案された。MCE法は、そのいくつかの特長、即ち、究極の設計目標である最小分類誤り確率状態との原理的一貫性を持つ高い学習能力や、音声パターンのような可変長パターンあるいは大語彙分類などのクラス数の大きさなどへの高い適用性、計算手続きの容易さなどに支えられて次第に普及するようになり、本研究を開始した2000年代中頃には音声認識や言語処理の分野における標準的なモデル学習法の1つとして広く定着するに至っていた。

しかし、そうした普及とは裏腹に、MCE法への批判も根強く存在していた。関数平滑性に基づく訓練耐性の制御がやや難しく、学習用標本に過度に適合し、未知標本に対して高い分類精度を達成できないことがあるという批判はその代表であろう。

一方、MCE法の開発に少し遅れて、新しい識別学習法、サポートベクタマシン（SVM: Support Vector Machine）が提案され、特にテキスト処理や生物情報学等の分野において急速に普及し始めた。SVM法は、最小分類誤り確率状態を追求するMCE法と異なり、その学習目標はクラス境界と最近傍パターンの間の距離、即ち幾何マージンを大きくすることにあり、未知パターン標本も基本的には学習パターン標本付近に存在することが期

待できることを考えれば、このマージン最大化の考え方は、訓練耐性を高める上で効果的なように見受けられる。しかしSVM法は、基本的に2クラスの固定次元ベクトルパターンの分類課題用に定式化されたものであり、課題の複雑さや規模に関する拡張性に欠け、さらに、不可避の分類誤りを含む課題においては、その基本的動作原理である幾何マージン最大化が理想的な最小分類誤り確率状態を保証しないという根本的問題を持っている。

上記のMCE法やSVM法に加え、他分野で広まった条件付確率場やブースティングなどを含む識別学習法への関心と利用可能な計算機環境の著しい向上とが相俟って、2000年代には広範な技術分野において識別学習法が盛んに研究されるようになった。しかし元来、分類器設計が目指すべき状態は、唯一、最小分類誤り確率状態であり、数多くの識別学習法が互いに無関連に研究される状況は望ましいものではない。識別学習法を健全に発展させるためには、種々のアプローチを体系的に俯瞰し、問題の本質を効果的に探究し、その解決を図るべきである。

本研究は、上述の問題認識に立ち、元々、課題定式化に関して高い汎用性を持っていたMCE法を土台として、SVM法やブースティング法などの、異なる分野で個別に研究されてきた識別学習法を体系化し、それらが抱える問題点を克服する、より強力な識別学習法の開発を目指すものであった。

（注1）MCE法は、一般化確率的降下（GPD: Generalized Probabilistic Descent）法において特に平滑化分類誤り数損失を用いる版として定義されたものである。本研究でも当初、より大きな枠組みであるGPD法を呼称として用いていたが、SVM法などの他の手法との比較をする際に損失選択の相違に焦点

を合わせる必要が高まり、研究成果中では MCE 法と呼ぶに至った。本報告書では、呼称の一貫性を保つために、MCE 法と呼ぶこととする。

2. 研究の目的

(1) 識別学習法の体系化

本研究を開始する以前に、MCE 法は既に、最小二乗誤差学習や最大相互情報量学習、学習ベクトル量子化などとの関係を説明できる一般的な枠組みとなっていた。そこを起点として、本研究では、MCE 法を用いて特に SVM 法との関係を重点的に調査し、双方を包含する識別学習の体系を構築することを目指した。

(2) より強力な MCE 学習法の提案

上述したように、MCE 法は十分な訓練耐性を達成できないことがある。前項の体系化を通して、この MCE 法の弱点の背景を調査し、例えば SVM 法が持つ幾何マージンの最大化などの機能を取り入れるなどして、その克服を可能とする新しい MCE 法の提案を目指した。

なお、MCE 法も SVM 法も、学習標本のクラス属性を必要とする教師付き学習であるため、その運用コストは高い。この欠点を軽減するために、教師なし学習の視点を取り入れることも目指した。

(3) 教育用ソフトウェアの開発

体系化をした上で、関連する種々の識別学習法を統一的に扱ったソフトウェアを教育用に提供することは、手法の普及を進め、パターン分類技術全体の発展にも大きく寄与するものと考えた。特に、プラットフォームフリーでネットワークプログラミングにも適したプログラム言語 Java を用いたソフトウェアを開発することを目指した。

3. 研究の方法

(1) MCE 学習法と SVM 法を軸とした体系化
MCE 法を土台としつつも、種々の識別学習法の中でも際立った学習目標の特徴を持つ、MCE 法（平滑化分類誤り数損失の最小化）と SVM 法（幾何マージンの最大化）を軸とした体系化のアプローチを採った。特に、MCE 法において分類判断の確からしさを表す誤分類測度が SVM 法において同様の役割をも持つ幾何マージンとなんらかの関係を持つことを予想し、その分析に焦点を合わせた。

また、大語彙音声認識などの実世界課題向きに、例えば音素や単語などの異なる粒度の分類単位を対象とした種々の識別学習が提案されてきたが、それらと MCE 法との間にもなんらかの関係があることが予見された。この点においても、MCE 法を軸として種々の目標関数を用いる識別学習を体系化することを試みた。

(2) MCE 学習法の改良

MCE 法の改良の主眼は、高い訓練耐性を安定的に達成できないという、その最も根本的な弱点の克服においた。特に、SVM 法との関係に関する予想や、比較的最近開発したパルツェン推定を用いる新しい MCE 法の定式化の結果に基づき、誤分類測度空間における訓練耐性の制御法の改良に焦点を合わせた。

また、教師なし学習的な機能を持たせることによって学習をより容易に実施できるようにするため、強化学習やアクティブ学習、ベイズ学習などの特徴を MCE 法に取り入れる手法の調査に焦点を合わせた。

(3) MCE 学習と一貫した特徴抽出法の構築

(MCE 法を包含する) GPD 法の一つである識別的特徴抽出法や識別的計量設計法を拡張して、分類過程と一貫して最適設計が行われる特徴表現法を、遺伝アルゴリズムなどを利用して構築することに焦点を合わせた。

(4) 教育用ソフトウェアの開発

前述のように Java を用いて開発を行う際、特にソフトウェアの可読性を高めることで教育効果を向上させることを目指し、プログラム実装におけるオブジェクト指向性とモジュラリティの確保に焦点を合わせた。

4. 研究成果

(1) 概要

研究開始時点における目的をほぼ達成し、MCE 法を土台とした識別学習法の体系化とそれを通じた新 MCE 法の開発に成功した。得られた成果はサブテーマ毎に以下に詳述する。

(2) 識別学習の体系化

まず、MCE 法の誤分類測度が、SVM 法の幾何マージンと対比的に用いられる関数マージンと等価であること、またブースティングにおけるマージンとも等価であることを見出した。結果的に、誤分類測度をこれらの種々の識別学習法をつなぐ共通項とし、SVM 法はヒンジ損失の最小化を行う手法として、ブースティングは主に指数損失の最小化を行う手法として、MCE 法は平滑化分類誤り数損失を最小化する手法として関連づけることに成功した。音声認識分野や画像認識分野、学習理論分野など、それぞれ異なる分野で開発、利用されてきたこれらの識別学習の実装法が初めて網羅的に体系付けられるに至った。また、用いる損失と学習が目指すべき目標状態（最小分類誤り確率状態）との原理的一貫性に基づき、MCE 法が他の競合手法よりも有利であることも明らかとなった。

異なる粒度の分類単位に関する識別学習を体系化するアプローチにおいては、 ϕ -確率と呼ぶ分類結果間の相違尺度に基づく確率関数を導入することによって、それらの種々の目標関数を統合的に表現する体系化を行うことに成功した。結果は、微視的単位の分類と巨視的単位の分類とを統合的に評

価するための有益な道具を提供することにつながるものである。

(3) 逐次増加型 MCE 学習法

ブースティングと MCE 法との関係が明らかになった結果、弱分類器の積み上げによって最終の統合分類器を構成できるなどの計算の手軽さを持つ一方で、ブースティングによる最小分類誤り確率状態の達成が原理的に困難であることも明らかになった。一方、MCE 法はクラスモデルの複雑な更新手続きに問題があった。ブースティングの段階的学習手順を MCE 学習の枠組みに導入することで逐次増加型 MCE 学習法^(注2)を定式化し、両者の長所を持ち合わせる新しい MCE 法を開発するに至った。図 1 は、ブースティングに倣って弱分類器を段階的に MCE 学習する本手法の学習手順を図解している。達成可能な分類力に関する、ブースティングの代表的実装法である AdaBoost 等に対する逐次増加型 MCE 法の優位性も実証されている。

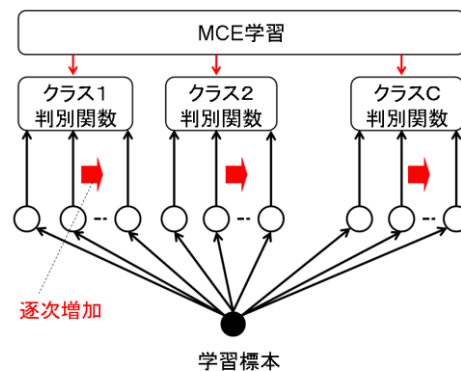


図 1 逐次増加型 MCE 法の学習手続き。

(4) 幾何マージンを誤分類測度とする新しい MCE 学習法

誤分類測度が関数マージンと等価であることが明らかとなった結果、従来の MCE 法が十分な訓練耐性の安定的な達成を保証できないことが明らかとなった。これは、分類判断の確からしさを表す指標として用いられてきた誤分類測度が実はその役割を果たし

ていないことに起因する。問題解決の鍵は分類判断の確からしさを直接表現する幾何マージンを誤分類測度とすることにあると考えるのは自然である。本研究ではまず、SVM法の枠組みにおいて2クラス分類課題のための線形判別関数分類器に限定的に導出されていた幾何マージンを、多クラスのマルチプロトタイプ型分類器用に導出し、ついでそれを大幅に拡張して、一般形の判別関数分類器のための幾何マージンの導出を得るに至った。SVM法において用いられてきた幾何マージンも、本研究において先に導出したプロトタイプ型判別関数用の幾何マージンもこの最新版の一部として包含されることは言うまでも無く、今後の訓練耐性能力の解析等を研究する際の有益な道具となり得る。この導出は、単に MCE 学習法の改善に留まらず、広範なパターン分類分野における重要な成果となり得るものと考えている。

上記の成果を基に、プロトタイプ型分類器のために幾何マージンを誤分類測度とする新しい MCE 法を実装し、その有用性を確かめた。実験結果の一例を図2に示す。新 MCE 法が安定的に高い訓練耐性（高分類精度を含む）を示す様子がわかる。

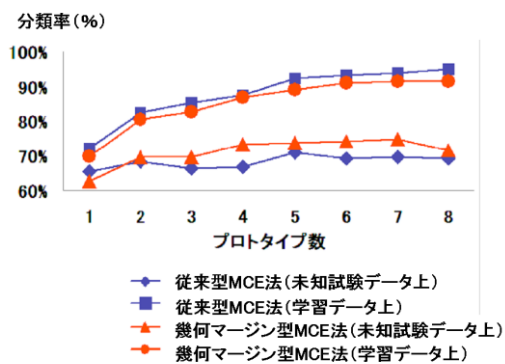


図2 従来型 MCE 法と幾何マージン型 MCE 法との比較。6 クラス課題上で Leave-One-Out 法で算出。

(5) 識別的粒子フィルタパターン抽出法

パターン分類は、その前段において正確に分類パターンが抽出されていなければならない。従って、分類器の本来の性能は、この前段のパターン抽出の性能にも左右され、分類器設計は抽出過程までもカバーする必要がある。背景信号から粒子フィルタを用いて自動的に分類対象パターンを抽出する手法に、MCE 法を組み込んで抽出と分類との総合的性能を向上させる手法を開発した。本成果は、教師なし学習の側面の強化や新しい特徴抽出法そのものの成果ではないが、逐次増加型 MCE 学習法と相俟って、より使い易い MCE 法の開発に道を開く結果である。

(6) 教育用ソフトウェア DISCERN の開発

目指した教育用ソフトウェアを DISCERN と呼ぶパッケージとして完成させた。従来型の MCE 法のみならず、幾何マージンを用いる新 MCE 学習法、SVM 法、代表的なブースティング法などを包含している。

(注2) アンサンブル型 MCE 法と呼んでいたことがあるが、最近の性能解析の結果、逐次増加型 MCE 法の呼称に統一することにした。

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 山田幸太^(第1著者), 片桐滋^(第2著者), 他 5 名; “最大幾何マージン最小分類誤り学習法を目指して”, 同志社大学理工学研究報告, 査読有, 50 巻, 2009, 149-158.

[学会発表] (計 17 件)

- ① 渡辺秀行^(第1著者), 片桐滋^(第2著者), 他 5 名; “Minimum Error Classification with Geometric Margin Control”, 2010 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2010

- 年3月19日, Sheraton Dallas Hotel (Dallas, 米国), 査読有.
- ② マクダーモット エリック, 渡部晋治, 中村篤; “Discriminative Training Based on an Integrated View of MPE and MMI in Margin and Error Space”, 2010 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2010年3月18日, Sheraton Dallas Hotel (Dallas, 米国), 査読有.
- ③ マクダーモット エリック, 渡部晋治, 中村篤; “Practical Integration of Minimum Phone Error in Margin Space using Maximum Mutual Information Building Blocks for Discriminative Training”, 日本音響学会春季研究発表会, 2010年3月9日, 電気通信大学(東京).
- ④ マクダーモット エリック, 渡部晋治, 中村篤; “Margin-Space Integration of MPE Loss via Differencing of MMI Functionals for Generalized Error-Weighted Discriminative Training”, 10th Annual Conference of the International Speech Communication Association, 2009年9月7日, Brighton Center (Brighton, 英国), 査読有.
- ⑤ 中村篤, マクダーモット エリック, 渡部晋治, 片桐滋; “A Unified View for Discriminative Objective Functions Based on Negative Exponential of Difference Measure Between Strings”, 2009 International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2009年4月21日, Taipei International Convention Center (台北, 台湾), 査読有.

- ⑥ マクダーモット エリック, 中村篤; “Flexible Discriminative Training Based on Equal Error Group Scores Obtained from an Error-Indexed Forward-Backward Algorithm”, International Speech Communication Association, INTERSPEECH 2008, 2008年9月26日, Brisbane Convention and Exhibition Center (Brisbane, オーストラリア), 査読有.

[その他]

ホームページ等

- ① DISCERN ホームページ : <http://ccilab.doshisha.ac.jp/index.html>
- ② 論文等 ホームページ : <http://kenkyudb.doshisha.ac.jp/rd/search/researcher/106006/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

片桐 滋 (KATAGIRI SHIGERU)
同志社大学・理工学部・教授
研究者番号 : 40396114

(2) 研究分担者

大崎 美穂 (OHSAKI MIHO)
同志社大学・理工学部・准教授
研究者番号 : 30313927

中村 篤 (NAKAMURA ATSUSHI)
日本電信電話(株)・NTTコミュニケーション科学基礎研究所・主幹研究員
研究者番号 : 50396206

マクダーモット エリック (MCDERMOTT ERIK)
(株) 国際電気通信基礎技術研究所・研究員
研究者番号 : 40447024
(H20→H21 : 連携研究者)