

機関番号：15401

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007 ～ 2010

課題番号：19500163

研究課題名 (和文)

パターン認識のための探索的モデル選択法に関する研究

研究課題名 (英文)

A study on exploratory model selection methods for pattern recognition

研究代表者

栗田 多喜夫 (KURITA TAKIO)

広島大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：10356941

研究成果の概要 (和文)：

最近の最適化手法に関する研究成果を取り入れて、(1) パターン認識器における最適なハイパーパラメータの決定法、(2) パターン認識のための有効な特徴の自動選択法、(3) 画像中の対象の高速探索法、(4) 汎化性能が高い識別器の自動設法、(5) 動画像中の対象のトラッキングのための特徴探索法等について実用的なアルゴリズムを開発し、パターン認識のための探索的モデル選択のための最適化の有効性を明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：

By taking recent developments on optimization algorithms into account, the practical model selection algorithms for pattern recognition such as (1) algorithm to determine the optimum hyper-parameters of the classifier, (2) selection algorithm of the effective features for pattern classification, (3) efficient learning algorithm for object detection in image, (4) automatic design of classifiers with high generalization, (5) feature selection algorithm for object tracking in the image sequences, were proposed and the effectiveness of the optimization algorithms was confirmed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008 年度	700,000	210,000	910,000
2009 年度	700,000	210,000	910,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：情報工学

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：パターン認識、最適化手法、モデル選択、汎化性能、物体検出、画像認識、トラッキング

## 1. 研究開始当初の背景

パターン認識技術は、インターネット上に蓄えられている大量のマルチメディアデータの中から意味のある情報を取り出すためのデータマイニングや画像中の対象の認識等の実環境で盛んに利用されるようになって来た。そのため、パターン認識技術への

要求もどんどん高度化している。そうした要求に答えるために、単純化のために従来多用されてきた線形手法を超えて、カーネル学習法やアンサンブル学習法等の非線形の手法が利用されるようになって来た。しかし、データの背後の確率的な関係を適切に表現するのに必要な複雑度よりも高い複雑度の非

線形モデルを用いると、訓練サンプルに対しては高い認識性能を得られるが、未学習のサンプルに対しては必ずしも認識性能がそれほど高くない識別器が構成されてしまう。これは、学習により獲得された識別器が訓練サンプルにたまたま含まれている変動要因に過度に適応してしまうためである。実用的なパターン認識のためには、そうした訓練データに対する過度の適応を防ぎ、未学習のサンプルに対する認識性能(汎化性能)の高い識別器を設計する必要がある。

汎化性能の評価方法としては、これまでに、情報量基準、ベイズ推定を用いる方法、交差確認法等が提案されている。その中でも交差確認法は、大量の計算パワーを必要とするが、どのようなモデルに対しても適用でき、実際の応用場面で汎化性能を評価するには有効な手法である。

一方、コンピュータの性能が年々向上し、PC クラスタやグリッド等の並列実行環境が整備され、大量の計算パワーが比較的手軽に利用できるようになってきている。そのため、より良い識別器を大量の計算パワーを使って構成しようとするアプローチが一般的になりつつある。例えば、カーネルサポートベクターマシンを用いて識別器を構成する際には、正則化パラメータとカーネルパラメータの最適な値を決定する必要があるが、交差確認法で評価した値が最も良くなるようなパラメータをグリッドサーチで探索する方法が広く利用されている。画像中の対象検出手法として注目されている Viola 等の手法では、矩形特徴をベースとした弱識別器をブースティングによって組み合わせることで高性能の識別器を構成するが、弱識別器の組み合わせの探索に大量の計算パワーを利用している。

最適化手法に関しては、遺伝的アルゴリズム、遺伝的プログラミング、シミュレーテッドアニーリング等の研究が一時活発に行われたが、最近では、鳥やアリ等の群れからヒントを得て、仲間の行動の結果を通信しながら次の行動を決定する集団による最適化手法(Particle Swarm Optimization)が開発され、遺伝的アルゴリズム等よりも少ない集団で良い解が得られることが報告されている。

## 2. 研究の目的

本研究では、そうした最近の最適化手法に関する研究成果を取り入れて、(1) パターン認識器における最適なハイパーパラメータの決定法、(2) パターン認識のための有効な特徴の自動選択法、(3) 画像中の対象の高速探索法、(4) 汎化性能が高い識別器の自動設計法、(5) 動画画像中の対象のトラッキングのための探索法等について、実用的なアルゴリズムの開発を通して、パターン認識

のための探索的モデル選択のための最適化の有効性を明らかにする。

## 3. 研究の方法

集団による最適化手法である Particle Swarm Optimization (PSO)等の最適化手法に関する研究成果を取り入れて、最適なパターン認識器を自動的に構成するための実用的なアルゴリズムの開発に取り組む。具体的には、(1) パターン認識器における最適なハイパーパラメータの決定法の開発、(2) パターン認識のための有効な特徴の自動選択法の開発、(3) 画像中の対象の高速探索法の開発、(4) 汎化性能が高く高速に動作する識別器の自動設計のためのモデル選択手法の開発、(5) 動画画像中の対象のトラッキングのための探索法の開発等の課題に取り組む。

## 4. 研究成果

1) パターン認識器の最適なハイパーパラメータの探索法の開発

サポートベクターマシンは、汎化性能を向上させるための工夫としてマージン最大化の基準を取り入れることで汎化能力の高い 2 クラス識別器を構成する手法である。しかし、その汎化能力を十分に発揮させるためには、正則化パラメータやカーネル関数のパラメータを適切に設定する必要がある。

サポートベクターマシンのパラメータを決定する方法としては、交差確認法で推定した汎化誤差を最小化する基準で格子点探索する方法がある。格子点探索では、探索するパラメータの値の範囲と探索する間隔(精度)を指定し、その範囲のすべての格子点のパラメータ値について交差確認法で誤識別率を評価する。その中で最も誤識別率が小さいパラメータの識別器を採用する。

このように、格子点探索では、適切な探索範囲を設定する必要がある。また、良い解を得るためには、探索範囲を広くし、間隔を細かくする必要がある。しかし、そうすると、計算コストがどんどん大きくなってしまふ。

そこで、本研究では、この探索に PSO を用いる方法を提案し、ベンチマークデータを用いた実験で、この手法が格子点探索よりも効率的に良いパラメータを選択できることを示した。

2) パターン認識のための有効な特徴の自動選択手法の開発

汎化性能の高い識別器を構成するためには、どのような特徴を利用してモデルを構成するかも重要である。特徴選択のためには、考えられる特徴集合の中から識別にとって最も有効な特徴の部分集合を見つけ出す必要がある。特徴の数が増加すると部分集合の数は指数的に増大するので、ある程度以上の

数の特徴の集合から最適な部分集合を探索することは計算量的に非常に難しい。そのため特徴選択でも準最適解を効率的に求めるための様々な探索手法が提案されている。

ここでは、Import Vector Machine (IVM) のためのインポートベクターの選択に PSO を利用する手法について検討した。

サポートベクターマシンは、線形モデルの出力をしきい値関数により二値に変換するモデル (単純パーセプトロン) を用いて 2 クラス識別器を実現する。

一方、ロジスティック回帰は、線形モデルの出力をシグモイド関数で [0:1] の実数値を取るように変換するモデルを用いて 2 クラス識別器を構成する。ロジスティック回帰で利用されるモデルの出力は事後確率を推定していると考えられることができる。カーネル法を用いて、それを非線形に拡張したモデルがカーネルロジスティック回帰である。Zhu 等は、サポートベクターマシンと同様に入力ベクトルの部分集合を用いてカーネルロジスティック回帰を構成する手法を提案し、Import Vector Machine と名付け、最終的に識別器に利用されるベクトルをインポートベクターと呼んでいる。

Zhu 等の提案したオリジナルの IVM では、モデルの評価関数として正則化対数尤度が用いられており、入力ベクトルの部分集合は Stepwise Forward Selection (SFS) 法で求められる。しかし、正則化対数尤度は、モデルの評価基準としては必ずしも良い基準では無い。また、SFS 法は最も簡単な変数選択アルゴリズムであるが、必ずしも良い部分集合が求まるとは限らない。

そこで、本研究では、モデルの良さの評価に交差確認法を用い、部分集合の探索に PSO を利用する手法を提案し、Zhu 等の手法を上回る認識性能をより少ないインポートベクター数で実現できることを示した。

### 3) 画像中の対象の高速探索法の開発

顔検出や歩行者検出等の物体検出では、画像中の局所領域から特徴量を抽出し、それらを統合して識別器を構成することが多い。そのような識別器では、画像中のどの局所領域の特徴をどのように組み合わせるかで識別性能が左右される。そのため、汎化性能の高い識別器を構成するためには、局所領域の選択が重要となる。

Viola 等は、局所領域の特徴として矩形特徴を用い、それらを Adaboost で選択することで、高速で比較的高性能な顔検出手法を提案した。その手法は、現在、顔検出のための標準的な手法として利用されている。

Viola 等が提案した Adaboost を用いて局所特徴を選択する方法では、Adaboost の各ステップで最適な局所特徴を探索するため、学習のために膨大な計算時間が必要である。

そこで、Adaboost の各ステップで最適な局所特徴を探索する代わりに、ランダムサンプリングと PSO を組み合わせた手法を用いて準最適な局所特徴を探索し、それらを統合した識別器を構成する手法を提案した。この手法により、Viola 等が提案した手法と同等の性能を持つ検出器が 4% 以下の計算時間で構成できることを確認した。

Viola 等の手法では、学習に膨大な計算時間が必要であるため、局所特徴のバリエーションを抑えることで学習に要する計算時間を抑制している。当然、局所特徴のバリエーションが増えれば、少ない特徴で高い性能を持つ識別器が構成できる可能性がある。

Viola 等が提案した局所特徴は、隣接する矩形の平均輝度を用いて定義されている。本研究では、非隣接矩形を考えることで矩形特徴のバリエーションを増やした。これにより矩形特徴の総数は、 $19 \times 19$  画素の顔検出の場合でも、約 5 万 3 千個から約 13 億個に増大するが、前述の学習の高速化の工夫により、この場合でも Viola 等の手法と同等の計算時間で高い認識性能を持つ識別器を構成することができた。

歩行者の検出では、Histograms of Oriented Gradients (HOG) 特徴を画像中の全ての場所から抽出し、それらを連結して作成した特徴ベクトルを線形サポートベクターマシンで識別する Dalal 等の手法が有名である。ここでも汎化性能の向上のためには、どの局所領域の HOG 特徴を利用するかを選択することが有効であると考えられる。そこで、本研究では、SFS 法を用いて HOG 特徴を選択する手法を提案した。

### 4) 汎化性能が高く高速に動作する識別器の自動設計のためのモデル選択手法の開発

サポートベクターマシン等のカーネル学習法では、サンプル数の増大に伴ってモデルの自由度も増大する。これは、大きなモデルの中で汎化性能の高い識別器を探索していることを意味する。したがって、汎化性能の向上の工夫を取り入れたサポートベクターマシンを用いても、汎化性能の高い識別器が構成できるとは限らない。つまり、全訓練サンプル集合から識別器の学習に有効な訓練サンプルの部分集合を見つけ出して、それを学習に利用する方が汎化性能の高い識別器が構成できるかもしれない。また、近年、大規模なデータに対して識別器を構成する必要性が高まっているが、そうした大規模な訓練データを用いてサポートベクターマシンを学習するのは計算量の点で困難を伴うことがある。識別器の学習に有効な訓練サンプルの部分集合が見つければ、少ない学習時間で識別器を構成できる可能性がある。

そこで、本研究では、サポートベクターマシンの学習に全訓練データを用いるのでは

なく、学習にとって有効な部分集合を探索し、それを学習に利用する手法 (RANSAC-SVM) を提案した。訓練データの部分集合の探索には、最も簡単なランダムサンプリングを用いた。具体的には、訓練データの部分集合をランダムに生成し、生成した部分集合を用いて識別器を学習し、学習結果の識別器の性能を評価した。訓練データは十分たくさんあると仮定しているので、識別器の良さの評価には、全訓練データの識別率を用いた。また、部分集合の探索を効率化するために遺伝的アルゴリズムを利用する方法についても検討し、提案手法の有効性を確認した。

サポートベクターマシンのような 2 クラスの識別器を用いて多クラスの識別問題を解決したい場合、一対一法や一対他法のように複数の 2 クラス識別器の識別結果を組み合わせて利用することが一般的である。誤り訂正出力符号化法では、誤り訂正符号の考え方を利用して、2 クラス識別器の出力の一部に誤りがあってもそれを訂正できるように 2 クラス識別器を組み合わせて多クラス識別を実現する。しかし、多クラスの識別に利用可能な 2 クラスの識別器の組み合わせ方法は、これら以外にも多数存在する。また、課題毎に最適な組み合わせ方法は異なっていると考える方が自然である。

そこで、本研究では、利用可能なすべての 2 クラス識別器の中から識別に有効な 2 クラス識別器の組み合わせ方を探索する手法について検討した。この課題でも、クラス数が多くなると 2 クラス識別器の部分集合の最適な組み合わせを探索するには膨大な計算が必要となるため、遺伝的アルゴリズムを用いて準最適な組み合わせを探索する手法を提案した。

5) 動画像中の対象のトラッキングのための探索法の開発

トラッキングでの識別器の最適化の応用例として、道路上方に設置されたカメラからの濃淡画像を入力として、車両を検出し、その移動軌跡を追跡する課題を考えた。道路上には複数の車両が走行しているため、追跡対象となる車両とそれ以外の車両や背景等とを区別することが重要である。また、照明条件および交通状況の変化に頑健かつ精度の高い追跡能力を持つことが必要である。

そこで、本研究では、照明条件の変動に頑健な統計的リーチ特徴 (SRF) からペア間の距離の制約をなくした画素ペア特徴を利用した追跡手法を開発した。追跡対象となる車両とそれ以外の対象の識別性能を向上させるために、考えられる画素ペアの中から追跡対象とそれ以外の対象の識別に有効な画素ペアの部分集合を選択し、利用する手法を提案した。画素ペアの選択には、追跡対象となる車両が追跡領域の中心にある画像を正例、

追跡対象となる車両が追跡領域の中心に無い画像を負例として、それらの識別性能の高い画素ペアを選択した。ここでも、すべての画素ペアを候補としてその部分集合を選択するのでは、実時間の処理が難しいので、ランダムサンプリングを併用した手法を用いた。その結果、追跡対象車両のコントラストが低く、周辺画像に高コントラストな特徴点が多数存在した場合でも、安定した追跡が実現できた。

#### 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 3 件)

1. K. Tanabe, B. Lucic, D. Amic, T. Kurita, M. Kaihara, N. Onodera, T. Suzuki, Prediction of carcinogenicity for diverse chemicals based on substructure grouping and SVM modeling, Molecular Diversity, 査読有, Vol. 14, No. 4, pp. 789-802, 2010.
2. T. Matsukawa and T. Kurita, Extraction of combined features from global/local statistics of visual words using relevant operations, 査読有, IEICE Trans. on Information and Systems, Vol. E93-D, No. 10, pp. 2870-2871, 2010.
3. A. Hidaka, K. Nishida, and T. Kurita, Object Tracking by Maximizing Classification Score of Detector Based on Rectangle Features, 査読有, IEICE Trans. on Information and Systems, Vol. E91-D, No. 8, pp. 2163-2170, 2008.

[学会発表] (計 28 件)

1. 栗田, 西田、日高、松川, [特別講演] パターン認識器の設計のための最適化, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, 信学技報, Vol. 110, No. 467, PRMU2010-251, pp. 85-90, 2011. 3 月 10 日, 産業技術総合研究所, つくば.
2. K. Shimada, Y. Noguchi, T. Matsukawa and T. Kurita, Appearance-Based Smile Intensity Estimation by Cascaded Support Vector Machines, Proc. of The 2nd International Workshop on Video Event Categorization, Tagging and Retrieval, November 8-12, 2010, Queenstown, New Zealand.
3. 栗田, [フェロー記念講演] 非線形判別分析とその周辺, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, 信学技報, Vol. 110, No. 187, PRMU2010-84, pp. 209-214, 2010. 9 月 6 日, 福岡大学.
4. 東久保, 荻内, 小野, 栗田, 西田, 稲吉,

- 荒田, SVM による検出とペア特徴追跡の組み合わせによる車両・二輪車計測, 電気学会電子・情報・システム部門大会予稿集, 2010. 9月3日. 熊本大学.
5. 渡辺, 日高, 荻内, 東久保, 栗田, ロバストテンプレートマッチングを用いた部分的な隠れに頑健な対象追跡手法, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2010)論文集, pp.1731-1738, 2010. 7月29日. 釧路.
  6. 栗田, [招待講演]パターン認識と機械学習, 電子情報通信学会音声研究会, 信学技報, SP2010-32, pp.61-66, 2010. 6月18日. 九州大学.
  7. 松川, 嶋田, 野口, 栗田, 複数特徴量のカスケード型サポートベクターマシンによる猫の顔検出, 画像センシングシンポジウム講演論文集, IS4-14, 2010. 6月11日. 横浜.
  8. T.Matsukawa, and T.Kurita, Scene classification using spatial relationship between local posterior probabilities, Proc. of International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP2010), Vol.2, pp.325-332, 17-20 May, 2010. Angers, France.
  9. Y.Murayama, T.Matsukawa, and T.Kurita, Finding a sub-optimal combination of the binary classifiers for multi-class classification problems, Proc. of the 16th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), pp.336-341, February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan.
  10. T.Matsukawa and T.Kurita, Combined Feature Extraction from Global/Local Statistics of Visual Words using Relevant Operations, Proc. of the 16th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2010), pp.492-497, February 4-6, 2010, Hiroshima, Japan.
  11. A.Hidaka and T.Kurita, Co-occurrence of Intensity and Gradient Features for Object Detection, 16th International Conference on Neural Information Processing, Bangkok, Thailand, December 1-5, Part II, LNCS 5864, pp.38-46, December 1-5, 2009. Bangkok, Thailand.
  12. 村山, 松川, 栗田, 多クラス識別問題における2クラス識別器の選択, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, PRMU2009-121, pp.195-200, 2009. 11月27日. 金沢.
  13. T.Kurita, K.Watanabe, and N.Otsu, Logistic Discriminant Analysis, Proc. of 2009 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, San Antonio, Texas, USA., October 11-14, pp.2236-2241, 2009.
  14. T.Matsukawa and T.Kurita, Image classification using probability higher-order local auto-correlations, Proc. of the 9th Asian Conference on Computer Vision (ACCV2009), Xian, China, Sep.23-27, 2009.
  15. 松川, 栗田, 事後確率画像上の高次局所自己相関に基づく一般画像認識, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2009)論文集, pp.568-575, 2009. 7月20日. 松江.
  16. 鈴木, 松川, 栗田, サポートベクターマシンを用いた Bag-of-Features における局所特徴の初期選択, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, PRMU2009-240, pp.7-12, 2009.
  17. 松川, 日高, 栗田, 顔表情と向きの投票による観客映像の識別, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, PRMU2009-240, pp.1-6, 2009.
  18. T.Matsukawa, K.Suzuki, and T.Kurita, Preliminary Local Feature Selection by Support Vector Machine for Bag of Features, Proc. of The 15th Japan-Korea Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision, 5-7 February 2009, Andong, Korea, pp.129-134, 2009.
  19. K.Nishida and T.Kurita, RANSAC-SVM for Large-Scale Datasets, Proc. of International Conference on Pattern Recognition, December 8-11, 2008, Tampa Convention Center, Tampa, FL, USA, 2008.
  20. K.Watanabe and T.Kurita, Locality Preserving Multi-Nominal Logistic Regression, Proc. of International Conference on Pattern Recognition, December 8-11, 2008, Tampa Convention Center, Tampa, FL, USA, 2008.
  21. A.Hidaka and T.Kurita, Non-Neighboring Rectangular Feature Selection Using Particle Swarm Optimization, Proc. of International Conference on Pattern Recognition, December 8-11, 2008, Tampa Convention Center, Tampa, FL, USA, 2008.
  22. 日高, 栗田, 非隣接型矩形特徴を用いた物体検出, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, PRMU2008-68, pp.135-140, 2008. 9月5日. 慶應義塾大学.

23. 松川, 栗田, Support Vector Machine を用いた AdaBoost の重み最適化, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, PRMU2008-66, pp.121-126, 2008. 9月5日. 慶應義塾大学.
24. A.Hidaka, T.Kurita, and N.Otsu, Object Detection by Selective Integration of Higher Order Local Autocorrelation Mask Feature, Proc. of 2008 ECSIS Symposium on Bio-inspired, Learning and Intelligent Systems for Security (BLISS-2008), pp.46-50, August 4-6, 2008, Edinburgh, Scotland, UK.
25. A.Hidaka and T.Kurita, Fast Training Algorithm by Particle Swarm Optimization and Random Candidate Selection for Rectangular Feature Based Boosted Detector, Proc. of 2008 IEEE Congress on Computational Intelligence (WCCI2008), Hong Kong Convention and Exhibition Center, June 1-6, pp.1164-1170, 2008.
26. K.Nishida and T.Kurita, Boosting with Cross-Validation Based Feature Selection for Pedestrian Detection, Proc. of 2008 IEEE Congress on Computational Intelligence (WCCI2008), Hong Kong Convention and Exhibition Center, June 1-6, pp.1251-1257, 2008.
27. A.Hidaka, and T.Kurita, Fast Training Algorithm by Particle Swarm Optimization for Rectangular Feature Based Boosted Detector, Proc. of 14th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2008), pp. 88-93, Jan. 23-26, 2008, Beppu, Oita, Japan.
28. T.Kobayashi, A.Hidaka, and T.Kurita, Comparison of linear feature spaces for classification of face sequences in movie videos, Proc. of 14th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV2008), pp. 70-75, Jan. 23-26, 2008, Beppu, Oita, Japan.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

栗田 多喜夫 (KURITA TAKIO)  
広島大学・大学院工学研究院・教授  
研究者番号 : 10356941

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号 :

(3) 連携研究者 ( )

研究者番号 :