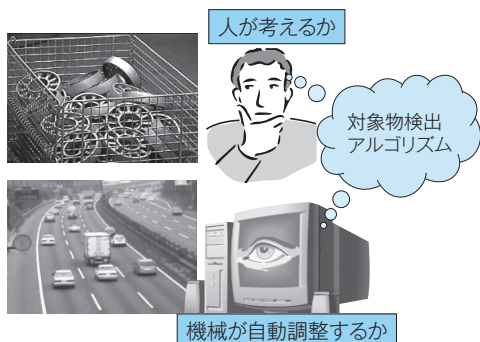


機械学習を用いた 新しい対象物検出技術

藤原伸行 Nobuyuki Fujiwara
宍道 洋 Hiroshi Shinji

キーワード 対象物検出, モデルベースマッチング法, 識別器, 機械学習

概要



対象物検出アルゴリズムの構築

近年のコンピュータの性能向上及び低価格化に伴い、産業分野では画像解析技術が多く取り入れられるようになってきた。当社でも長年にわたり画像解析技術の開発に取り組み、様々な画像応用製品を開発し製品化してきた。その中でも特に重要なものとして、対象物検出技術がある。従来の対象物検出技術は、人が判断基準を考えて機械に設定する方法が多く採られてきた。これに対し、最近では機械が判断基準を自動的に構築する機械学習と呼ばれる方法がある。当社では、機械学習の一種である識別器を用いた対象物検出技術を開発した。この新しい対象物検出技術は、自動的に複数の判断基準を調整できるため、判断の精度が高い場合が多く、ある特定の分野で大量のデータを保持していれば、その分野に特化した高性能な対象物検出システムを構築できる可能性が高い。

1 まえがき

近年のコンピュータの性能向上及び低価格化に伴い、産業分野では画像解析技術が多く取り入れられるようになってきた。当社でも長年にわたり画像解析技術の開発に取り組み、ピンピッキングシステム⁽¹⁾、架線検測装置⁽²⁾、侵入者検知装置⁽³⁾などの様々な画像応用製品を開発し製品化してきた。ピンピッキングシステムはカメラで撮影した部品籠の中から対象物を検出し、その三次元的な位置と姿勢を求め、ロボットアームが検出した対象物を取り上げるシステムである。架線検測装置は、電気車両の屋根上に設置したカメラで撮影した画像を用いて、電気車両に電気を供給する架線の状態を検査する装置である。侵入者検知装置は監視カメラの画像を解析して、人物や車両などの侵入物を自動的に検出する装置である。これらの画像応用製品を支える画像解析技術

で、特に重要な技術として対象物検出技術がある。これは画像中に所望の対象物を探索し、その画像上での位置を求める技術である。従来の対象物検出技術では、人が判断基準を考えて機械に設定する方法が多く採られてきた。これに対し、機械が判断基準を自動的に構築する機械学習と呼ばれる方法が近年注目を集めている。

本稿では、当社がここ数年開発に取り組んできた対象物検出のための新しいアルゴリズムについて紹介する。これは機械学習の一種である識別器を用いた方法である。

2 対象物検出技術の流れ

コンピュータの演算能力が低かった頃は、画像のように大きなデータを扱うことが難しかった。そこで画像上の明るさのあるしきい値で黑白の二値にし、部品

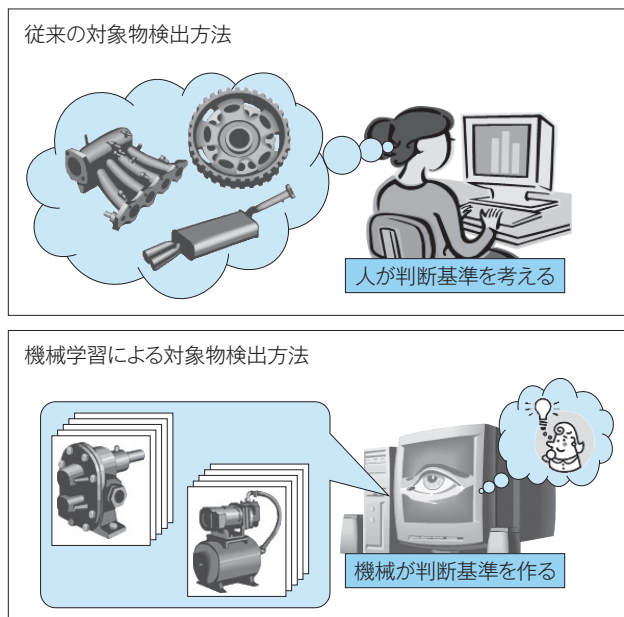
上の穴などの面積や周囲長さなどを特徴量として照合を行う対象物検出方法を用いた。その後、計算機の演算能力が向上するにつれて画像の輝度情報同士を比較するテンプレートマッチングや対象物の形状特徴を抽出して、その形状特徴同士を比較することで、対象物を検出するモデルベースマッチング法などの方法が用いられるようになった。これらの方法は、人が判断基準を考えて機械に設定する方法である。

近年は計算機の演算性能が高くなり、ネットワークを通じて多くのサンプル画像が入手可能になったことも手伝って、大量の学習サンプルを与えることで機械が判断基準を自動的に構築する機械学習と呼ばれる技術を応用した方法が採られるようになってきた。身近な例として、デジタルカメラの顔検出技術がある。これはあらかじめ大量の顔画像サンプルを用いて識別器と呼ばれるパターン認識アルゴリズムを学習しておき、その判断を基に画像中から顔らしき部分を検出する方法である。従来の人が判断基準を設定する方法と比べて、機械学習を応用した対象物検出技術は、自動的に複数の判断基準を調整できるため、判断の精度が高い場合が多い。ただし大量の学習データを用意する必要があるため、どのよ

うに学習データを作るかが課題である。逆にこの課題を利点と捉えると、ある特定の分野で大量のデータを保持していれば、その分野に特化した高性能な対象物検出システムを構築できる可能性が高い。**第1図**に従来法と機械学習法との対象物検出技術の概要を示す。

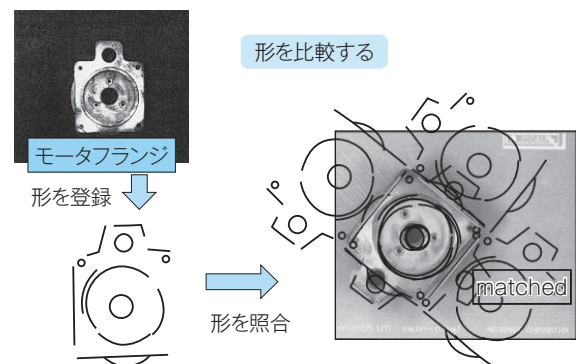
3 従来の対象物検出

当社は、対象物検出技術として形状や模様及び時系列変化を基に対象物を検出する方法を開発してきた⁽⁴⁾。従来の代表的な対象物検出方法として、モデルベースマッチング法⁽⁵⁾がある。これは形状を基に対象物を検出する方法である。対象物を撮影した基準画像中から抽出した直線・円弧といった形状データを選択し、あらかじめ画像上における対象物の形状モデルを作製しておく。対象物を検出する際には入力画像中から同じように形状データを抽出し、対象物の形状モデルと照合する特徴マッチングを行う。**第2図**にモデルベースマッチング法の処理概要を示す。この方法は対象物の形状を基に照合を行うため、明るさ変動や物体表面上の汚れなどの外乱に強い特長がある。原理的に画像上における対象物の見かけの大きさ変動に対応することは困難であるが、実験的には10%程度の大きさ変動ならば問題なく対象物を検出できることを確認している。**第3図**に画像中から鋳物部品を検出した例を示す。



第1図 対象物検出技術の概要

従来の人が判断基準を設定する方法と比べ、機械学習を応用した対象物検出技術は、自動的に複数の判断基準を調整する。



第2図 モデルベースマッチング法の処理概要

モデルベースマッチング法は、あらかじめ作製した形状モデルと入力画像中から抽出した形状データを比較することで、対象物を検出する方法である。



第3図 画像中から鋳物部品を検出した例

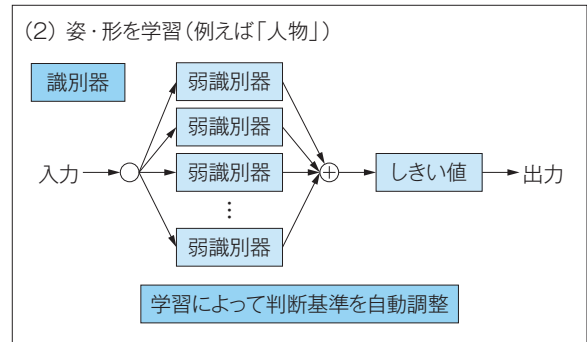
画像上における対象物の形状を基に鋳物部品を検出した。

4 識別器による対象物検出

4.1 多数決による判断

それぞれ個々の力量はそれほど高くなくても、多数の人が意見を出し合い集約すれば、良い決定を見出せることがしばしばある。そこで単純な判断を学習しておき、最後に多数決を行うブースティング (boosting) という方法が注目を集めている⁽⁶⁾。ここではブースティングの1つであるアダブースト (AdaBoost) と呼ばれる識別器を用いた対象物検出技術を紹介する。

アダブーストは、大量の学習データを与えることで自動的に判断基準を調整することができる識別器である。学習データの与え方としては、検出したい対象物のデータとそのほかのデータの2種類のデータを用意し、それぞれのデータに対象物であるか否かの紐づけをしておく。こうして準備した学習データをアダブーストの学習アルゴリズムに与えることで、判断基準を自動調整する。アダブーストは弱識別器と呼ばれる単純な判断基準を内部に多数持ち、それぞれの弱識別器の判断を集約して多数決を取ることで最終的な判断を行う。第4図にアダブーストの構成概要を示す。学習後の未知データに対する出力は対象物であるか否かの判断である。例えば人物を検出する場合は、人物を撮影した画像データと植物や建物などそのほかの画像データを大量に用意し、



第4図 アダブーストの構成概要

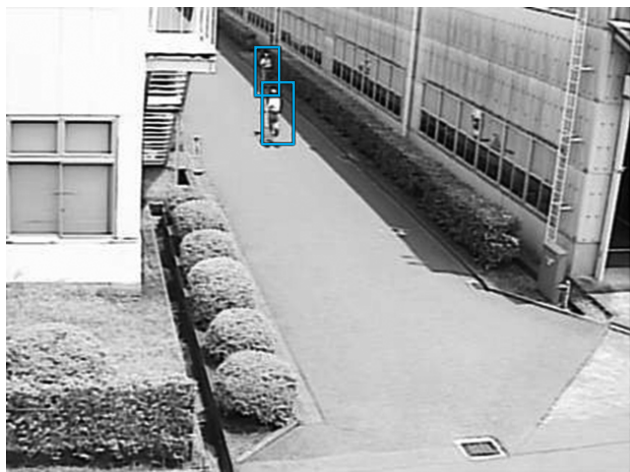
アダブーストは弱識別器と呼ばれる単純な判断基準を内部に多数持ち、それぞれの弱識別器の判断を集約して多数決を取ることで、最終的な判断を行う。



第5図 歩行中の人物を検出した例1

監視カメラの画像上において歩行中の人物を検出した。

画像中から輝度勾配方向などの特徴抽出を行ってからアダブーストを学習する⁽⁷⁾。第5図と第6図に歩行中の人物を検出した例を示す。このアルゴリズムでは、人の大まかな形状を学習するので、監視カメラにパン・チルト・ズーム動作があった場合でも問題なく歩行者を追跡し続けることができる。



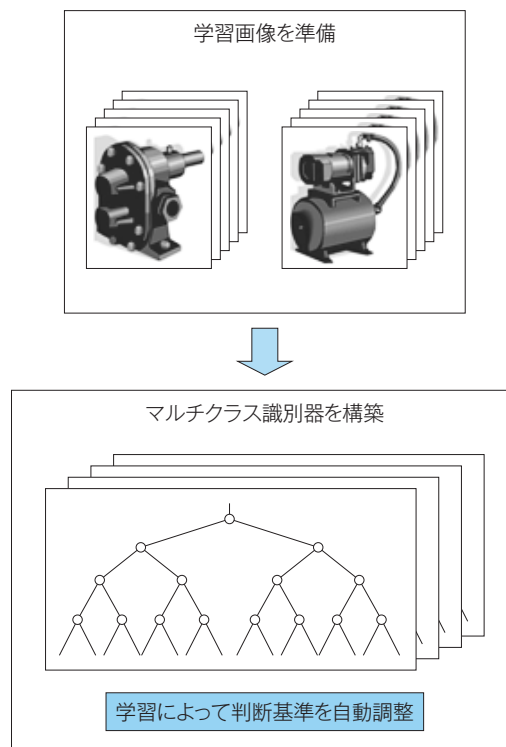
第 6 図 歩行中の人物を検出した例 2

監視カメラにパン・チルト・ズーム動作があった場合でも、問題なく歩行者を追跡し続けることができる。

4.2 分岐木による判断

アダブーストは対象物か否かの2種類の分類を行う識別器であるが、多種類の分類を一度に行う識別器としてランダムフォレスト (Random Forests) がある。ランダムフォレストは学習サンプルに含まれるノイズに対して頑健な特長があり、高い識別精度がありながら高速に処理できるため近年注目を集めている⁽⁸⁾。

ランダムフォレストもアダブーストと同じく大量の学習データを与えることで、自動的に判断基準を調整する識別器である。ランダムフォレストでは、まず識別したい数の対象物の学習データを用意し、それぞれのデータに対して対象物のIDを付けておく。こうして準備した学習データをランダムフォレストの学習アルゴリズムに与えることで判断基準を自動調整する。ランダムフォレストは複数本の分岐木構造となっており、中間層にある分岐ノードと分岐木の末端に位置する末端ノードで構成する。分岐ノードは単純な判断基準によって分岐のどちらに進むかを示す。学習アルゴリズムは、判断基準の状態をランダムに選びながら試行することで判断基準を調整する。分岐ノードの学習後に末端ノードの出力データを作成する。分岐ノードを学習済みの分岐木に対して学習データを入力し、どの学習データがどの末端ノードにたどり着いたかを調べて

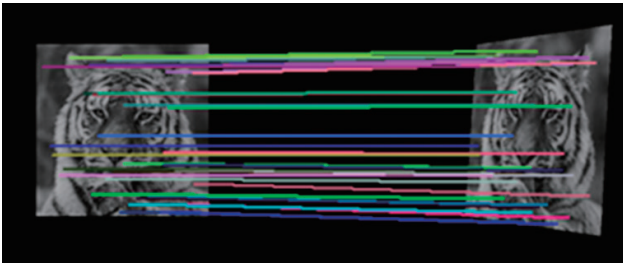


第 7 図 ランダムフォレストの構成概要

ランダムフォレストは複数本の分岐木構造をしており、中間層にある分岐ノードと分岐木の末端に位置して確率分布を持つ末端ノードで構成する。

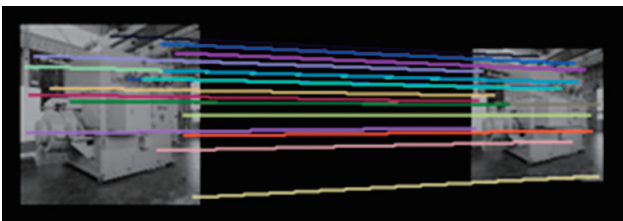
対象物の到達頻度を求める。例えばある末端ノードにはID1が8件、ID2が5件、ID3が12件というように、それぞれの末端ノードにどのIDの学習データがたどり着いたかの頻度を調査する。末端ノードでは、こうして得た頻度分布を正規化した確率分布を出力データとして持つ。第 7 図にランダムフォレストの構成概要を示す。

学習後の未知データに対する出力は対象物それぞれの確率値である。例えばある虎の正面顔を検出する場合は、基準となる画像を様々な方向から撮影した画像を準備し、耳・鼻・口・頬などの各部位の部分画像を別々の対象物としてランダムフォレストを学習する。第 8 図に虎の正面顔を検出した例を、第 9 図にタービン発電機を検出した例を示す。図の左側が基準となる画像で右側が別の方向から見た画像である。ランダムフォレストにより対応がとれた部分同士を線で結んである。この例では対象物上の各部位をそれぞれ検出し総合的に1つの対象物として検出した。



第 8 図 虎の正面顔を検出した例

虎を検出した例を示す。左側が基準となる画像で、右側が別の方向から見た画像である。耳・鼻・口・頬などの各部位の部分画像を別々の対象物としてランダムフォレストを学習し、総合的に1つの虎の正面顔として検出した。



第 9 図 タービン発電機を検出した例

タービン発電機を検出した例を示す。左側が基準となる画像で、右側が別の方向から見た画像である。ランダムフォレストによって対応がとれた部分同士を線で結んでいる。

5 むすび

当社は長年にわたり画像解析技術の開発に取り組む、様々な画像応用製品を開発し製品化してきた。本稿では、当社がここ数年開発に取り組んで来た対象物検出のための新しいアルゴリズムについて紹介した。これは機械学習の一種である識別器を用いた方法である。この対象物検出方法は、大量の学習サンプルを与えることで自動的に複数の判断基準を調整できるため判断の精度が高いことが多く、特定の分野で大量のデータを保持しているような場合

には、その分野に特化した高性能な対象物検出システムを構築できる可能性が高い技術である。

本研究開発を実施するにあたり、技術指導をいただいた中部大学の藤吉教授に深く感謝する次第である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《参考文献》

- (1) 恩田・藤原・阿部・森：「三次元円検出による部品位置決めと事前のハンド干渉チェックにより実現した視覚ベースピンピッキングシステム」, 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.7, 2000, pp.93-100
- (2) 庭川・渡部・藤原・木下・佐藤：「画像処理による総合架線状態検測装置の開発」, SSII2008講演論文集, 2008, pp.IN3-10-1-IN3-10-2
- (3) 藤原・秋元：「ネットワーク経由の監視カメラ画像から侵入者を検知する監視システムの開発」, 明電時報310号, No.5/2006, pp.38-42
- (4) 藤原・松原・庭川：「画像応用製品を支える対象物検出技術」, 明電時報335号, No.2/2012, pp.37-40
- (5) 藤原・恩田・井倉：「階層的モデルマッチングによる鋳物部品の位置検出」, 平成8年電気学会全国大会論文集, 1996, p4-316
- (6) 村田・金森・竹之内：「ブースティングと学習アルゴリズム」, 電子情報通信学会誌, Vol.88, No.9, 2005, pp.724-729
- (7) 藤吉：「Gradient ベースの特徴抽出」, 情報処理学会研究報告CVIM160, 2007, pp.211-224
- (8) 西村・清水・藤吉：「2段階の Randomized Trees を用いたキーポイントの分類」, 画像の認識・理解シンポジウムMIRU2010, 2010, pp.1412-1419

《執筆者紹介》



藤原 伸行
Nobuyuki Fujiwara

ICT 製品・サービス統括本部開発部
コンピュータビジョンの研究開発に従事



宍道 洋
Hiroshi Shinji

製品技術研究所
コンピュータビジョンの研究開発に従事