

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：33908

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12055

研究課題名（和文）自己学習型AI技術による外観検査システムの自動設計

研究課題名（英文）Automatic design of visual inspection systems using self-learning AI technology

研究代表者

青木 公也（AOKI, KIMIYA）

中京大学・工学部・教授

研究者番号：40324488

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：モノづくりの現場において、外観検査は欠くことができないが、検査の信頼性・効率化の観点から、目視検査の自動化が求められている。しかし、画像処理手法、センサ選定・照明条件は対象に応じた調整・設計等、自動検査装置はハード・ソフト共に検査対象・項目毎にワンオフ開発になりがちである。また企業からは、少量多品種、多種多様な検査項目、検査仕様・基準の変化等へ対応できる汎用性・融通性が求められている。そこで本研究では、AI技術による、検査装置の撮像系（ハード）と画像処理系（ソフト）の自動設計・調整手法を提案することを目的とし、外観検査装置の開発工数の大幅な削減を目指した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究における学術的意義は二つある。一つは、デジタル画像処理と撮像系を相互に最適化することの重要性を示したことである。画像処理技術は、カメラやレンズ、照明システム等のハードウェアと、デジタル画像データに対するソフトウェアの両面を含むが、近年のAI技術の発展から、ソフト偏重の傾向がある。如何に優れたアルゴリズムも、そもそもデジタル画像データ中にない信号を処理・認識することはできない。二つ目は、AI技術における再学習・再利用について具体的な指針を与えたことである。本研究では、間違ったデータ群を自動分類し、つまり間違いの傾向を分析して、簡単に再学習できる方法を提案した。

研究成果の概要（英文）：Visual inspections are indispensable in the manufacturing process, and automation of visual inspections is required to improve inspection reliability and efficiency. However, automatic inspection systems tend to be developed specifically for each inspection target or item, including image processing methods, sensor selection, and adjustment and design of lighting conditions according to the target. In addition, versatility and flexibility are required to accommodate small quantities of various products, a wide variety of inspection items, and changes in inspection specifications and standards. In this study, an automatic design and adjustment method for the image capture system has been proposed (hardware) and the image processing system (software) of the inspection system using AI technology.

研究分野：知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：マシンビジョン 画像処理 外観検査 進化的探索 オートコーディング 目視検査 人工知能

1. 研究開始当初の背景

(公財)ちゅうごく産業創造センターが2016年にまとめた「ものづくり企業の生産現場における検査の自動化促進可能性調査」によると、中国地域のものづくり企業の約5割が既に検査工程を自動化し、約7割が今後の自動化意向を有するとされている。その上で、画像処理・AI技術を適用するシステムインテグレーション技術がユーザ企業に不足していることが、自動化の阻害要因として指摘されている。外観検査装置は、検査対象をカメラ等で撮影する撮像系、得られた画像から良・不良や欠陥レベルを判定する画像処理系から成る。装置の製作には、既存の画像処理技術を検査対象・項目等に合わせて組み合わせる適用技術が必要であり、プログラミング能力、カメラ・センサ・照明・位置決め等の光学系に関する知識、画像処理に関する知識が要求される。設計支援・自動化手法が提案できれば、前述したような特殊な技能や知識を必要としないようになるため、本研究の波及効果は高いと考えられる。

画像処理の基礎研究においては、特徴点検出、領域抽出・分割、パターン分類等について様々な既存手法があるが、実画像(例えば、本研究課題である検査)に適用すると、必ずしも良好な結果が得られない。これは、実際の画像がそのアルゴリズムが想定した理想的な状態でないことが大きな要因である。本来的には、画像処理手法は撮像系と、それに対する処理手法との連携が不可欠である。このことは、近年、外観検査自動化においてもその活用が期待されているAI技術も同様である。AI技術では一般的に、多数の学習画像があれば目視検査が自動化されると考えられている。しかし、そもそも入力画像に所望する判定に十分な情報が含まれていなければ、たとえ最先端のAI技術を転用したとしても問題は解決しない。本研究では、「人(熟練検査員)と同等の性能を持った自動機は、撮像系と画像処理系の相互最適化によってのみ実現されること」を学術的な問いとして提起する。

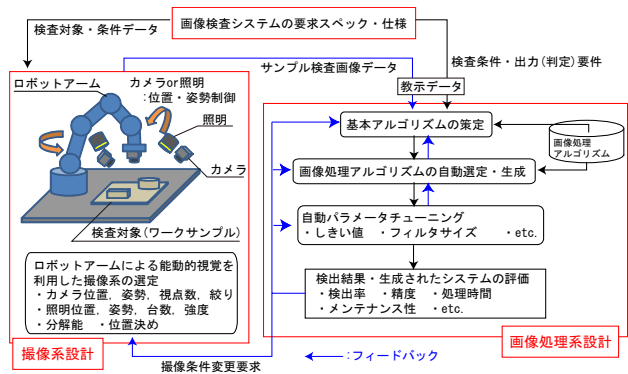


図1 提案システムの概要

2. 研究の目的

本研究では、撮像系の設計・パラメータと、それによる入力画像に対する画像処理アルゴリズムの設計・パラメータを同時に最適化し、外観検査装置を自動設計する手法を提案する。システムの概要を図1に示す。まず、撮像系のステージに検査対象を設置する。視点(カメラ位置・角度)や照明条件が初期化され、一先ず画像が撮像される。得られたサンプル画像群と出力要件等を教示データとし、画像処理系に入力する。画像処理系では、良否判定や欠陥像の検出等、出力の要求仕様を満たすように画像処理アルゴリズムの組み合わせや、パラメータの最適化が試みられる。この段階では欠陥の見逃しや、良否の誤判定が見込まれるが、その要因を入力画像から抽出し、撮像系にフィードバックする。以上の最適化ループにより、外観検査装置の撮像系が設計され、同時に画像処理系ソフトが実装される。また、本システムは様々な検査対象・項目に対する外観検査装置を自動設計していくうちに、ある種の定石やノウハウを蓄積し、それを新たな設計に応用する学習機能を保持する。

以上の自動設計システムによって、あるワークに対してユーザが求める目標画像が出力される撮像系と画像処理系を求めることができる。図2に自動設計システムで設計された外観検査機を実装する場合の模式図を示す。「撮像系設計」から得られた照明・カメラの条件に基づき、製造ライン上に検査装置を実装する。また、「画像処理系設計」から得られた検査ソフトウェアについては、目標とする検査部位や欠陥領域が出力されるため、検査項目・仕様に基づいて良・不良の判定や画像計測処理を追加し、検査装置にインストールする。

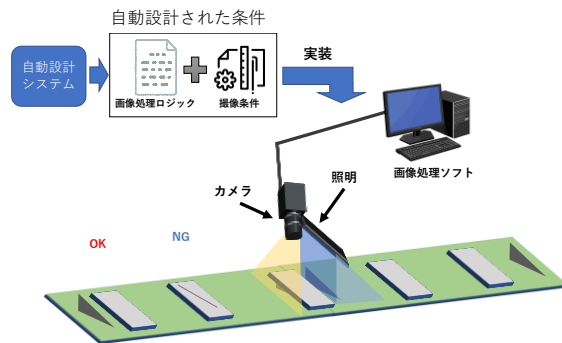


図2 自動設計システムの運用イメージ

3. 研究の方法

外観検査システムにおける画像処理系はソフトウェアであり、その自動構築では、画像処理あるいはAIプログラムを検査対象・項目に適用させるため、自動的に組み合わせ・調整を行う、所謂自動プログ

ラミングの研究開発である。本研究では、AI 技術のうちの遺伝的ネットワークプログラミングを応用し、検査画像とそこに存在する欠陥領域を指定したデータセットを与えるだけで、既存の画像処理ライブラリからコマンドを自動選択し、各種画像処理パラメータも自動調整し、欠陥検出を実現する画像処理プログラムを自動生成する手法を検討する。また、プログラムの自動生成において、人の思考過程に関する知見を導入し、より解釈性の高いアルゴリズムが生成される手法や、既存アルゴリズムを再利用する方法、検出が失敗した場合の再学習が容易である方法を検討する。

一方、撮像系の自動設計については、外観検査システムにおける撮像条件を自動探索するシステムを検討する。具体的には、照明の波長・照度・個数、照明とカメラとワークの位置関係、カメラのゲイン・シャッタースピード等の撮像条件の最適化を、何らかの最適化アルゴリズムとそれが提示する条件を自動的に検証するハードウェアによって実現する。

4. 研究成果

(1) 間違いを再学習できる検査画像処理ソフトの自動生成システム

近年、外観検査の自動化に AI 技術を適用する例が増えている。AI 技術（ここでは深層学習に基づく手法を狭義に AI 技術と記述する）は、データさえ収集すれば学習（と呼ばれるロジック）によって、自動的に検査の感度設定が達成されるが、一般的には、装置導入前に多量の学習データを準備する必要がある。また、誤検出に対する再学習が課題である。これは、現状の AI 技術が「純然たるパターン認識を実行し、局所的な一般化を達成するモデル」であることが原因の一つであると考えられる。つまり AI 技術によって得られる識別モデルは「抽象化と推論機能を持ち、極端な一般化を達成できるモデル」ではない。一方、検査員や画像処理エンジニアによって構築された検査画像処理プログラムは、与えられたタスク（外観検査）を適切に抽象化・モデル化している。例えば、検査画像から欠陥候補領域を前景としたセグメンテーションタスクに対して構築されたシステムは、設計時に参照された画像から良品・欠陥特徴に比較的大きな変化があったとしても対応可能である。そこで本研究では、人の様に検査画像処理プログラムを自動生成できるシステムに着目した。現在の AI 技術が注目されるより以前から、検査画像処理プログラムの構築を、画像処理コマンドやパラメータチューニングの組み合わせ最適化問題として、進化的探索によって解く方法が提案されている。そこで本研究でも IPNP (Image Processing Network Programming) と呼ぶ、遺伝的ネットワークプログラミングを基本とする手法を採用した。IPNP では、画像処理プログラムの構築における人の思考方法の導入を試みている。これによって、少量のデータセットでの学習（最適なプログラムの探索）と、誤検出時の再学習（追探索）を可能とした。

(2) 撮像系最適化手法と撮像系と画像処理系の相互最適化手法

マシンビジョンにおいては、主に撮像系が特徴情報を選択的に抽出する役割を担っている。取得した画像に、その後の画像処理によって目標を達成し得るに足る情報が内包されていること、かつその情報がその他の情報と区別でき得ることが必要である。画像全体から所望の情報を抽出する際には、その情報の確かさ、つまり S/N 比が問題となる。また、その画像のどの様な情報に着目して、どの様な画像処理を施して信号を取り出すかでも、S/N 比が変わってくる。つまり、撮像系の最適化と画像処理系の最適化は切り離せない。そこで、「撮像系最適化工程」では、後段の画像処理系に必要な情報を抽出できる撮像条件を探索する。ここで、外観検査に必要な撮像条件を試行するためには、理想的にはそれらを網羅的に実現できる実験装置が必要となる。ただし、外観検査装置の実装については、検査対象・項目毎に、これまでのノウハウや、光学的な観点からの設計事例も蓄積されており、新たなタスクに対してそれらを活用するのが妥当である。本研究では画像処理系との相互最適化の実証実験を主眼におき、カメラの露光時間やゲイン、検査対象の姿勢等を探索するシステムを構築した。

外観検査装置の相互最適化では、「撮像系最適化工程」と「画像処理系最適化工程」を交互に実行する手法を提案した。具体的には、「撮像系最適化工程」において複数の撮像条件が試行され、評価では各条件に紐づいた画像処理が実行される。「撮像系最適化工程」が進化的計算において一定世代繰り返された場合、各撮像条件に紐づいた画像処理がそれぞれ「画像処理系最適化工程」において進化的計算によって最適化される。ここで問題になるのは、ある段階における最適化は、一方のある段階において最適化された条件における最適化である点である。つまり、「撮像系最適化工程」の探索空間は、「画像処理系最適化工程」によって評価基準が変化する動的環境下の問題となる。本研究においては、「画像処理系最適化工程」の後段の「撮像系最適化工程」において、探索空間の状態を調べ、変動に応じて「画像処理系最適化工程」における進化的計算での初期パラメータ群（個体群）の生成を変更する。「撮像系最適化工程」が一定世代経過すると、各撮像条件に紐づいた画像処理について、それぞれ「画像処理系最適化工程」において最適化探索が再開されるが、この一定世代の前後において撮像された画像を現状の画像処理ロジックに入力した際の評価値の差をモニタする。このモニタ値が小さい場合は「撮像系最適化工程」の探索空間の変化も小さいことを、大きい場合は探索空間が大きく変化したことを表している（つまり、撮像条件の変化によって、前回までの画像処理手法が通用しなくなっている）。従って、「画像処理系最適化工程」の再開時に、モニタ値が大きいほど進化的計算における個体群（画像処理のロジック）の初期化割合を大きくする。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 SAKAI Shun, OSADA Hajime, SUZUKI Kohei, AOKI Kimiya	4. 巻 87
2. 論文標題 Functionally Enhancement of IPNP(Image Processing Network Programming) for Modifying Appearance Inspection Program	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society for Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 206~212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2493/jjspe.87.206	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 青木公也, 伊藤純	4. 巻 31
2. 論文標題 外観検査システム設計における撮像系と画像処理系の相互最適化(解説)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 画像ラボ	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 青木公也	4. 巻 69
2. 論文標題 AIによる製造工程における外観検査自動化事例	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 非破壊検査	6. 最初と最後の頁 318-322
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 坂井舜, 鈴木航平, 青木公也
2. 発表標題 外観検査画像処理ロジック自動生成における検出失敗時の追探索
3. 学会等名 第26回画像センシングシンポジウム(SSII2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木航平, 坂井舜, 青木公也
2. 発表標題 画像処理プログラム自動生成における教師画像自動更新手法の検討
3. 学会等名 動的画像処理実利用化ワークショップ(DIA2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤純, 坂井舜, 鈴木航平, 青木公也
2. 発表標題 外観検査システム設計における撮像系と画像処理系の相互最適化手法
3. 学会等名 ビジョン技術の実利用ワークショップ(ViEW2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂井舜, 伊藤純, 青木公也
2. 発表標題 外観検査画像処理ソフト自動生成における再学習と再利用
3. 学会等名 ビジョン技術の実利用ワークショップ(ViEW2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木航平, 伊藤純, 坂井舜, 青木公也
2. 発表標題 画像処理プログラム自動生成におけるLoose Annotation の検討
3. 学会等名 動的画像処理実利用化ワークショップ(DIA2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木公也
2. 発表標題 AIによる製造工程における外観検査自動化事例
3. 学会等名 2020年度非破壊検査総合シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関