

氏名・(本籍) 吉村 裕一郎 (静岡県)

学位の種類 博士 (情報科学)

報告番号 甲 第134号

学位授与年月日 2018 (平成30) 年 3 月19日

学位授与の要件 学位規則 (昭和28年 4 月 1 日文部省令第 9 号)

第 4 条第 1 項該当

論文題目 外観検査自動化のための画像検査システム自動構築に関する研究

審査委員 (主査) 青 木 公 也

興 水 大 和

橋 本 学

青 森 久

審査概要および結果 (論文)

〈審査請求論文の経過と論文の概要〉

申請者 吉村裕一郎氏は、2009年 4 月、中京大学情報理工学部機械情報工学科に入学し、2013年 3 月に当該学科を卒業後、同 4 月、同大学院情報科学研究科 (修士課程) 情報科学専攻に進学、2015年 4 月、同研究科 (博士課程) 情報認知科学専攻に進学、現在に至っている。この間、当該研究科において、申請学位論文「外観検査自動化のための画像検査システム自動構築に関する研究」に至る一連の研究を推進してきた。

申請論文は、画像処理及び AI 技術を基本として、工業製品の外観検査画像処理アルゴリズムの開発支援、或いは自動生成の手法に関する研究をまとめたものである。具体的には、先ず第 1 章において、モノづくりの現場における外観検査システムの技術動向、工業製品に発生する瑕疵とそれを自動検査することの意義等、研究背景を述べ、研究課題と研究目的を明確にしている。第 2 章では、生産技術者が自身の持つ任意の製品の検査知識を入力するだけで、品質工学に基づいて最適化された検査画像処理ソフトウェアが出力されるシステムを提案している。第 3 章では、教師データとして検査画像とその画像中で検出した領域を指示した 2 値画像、つまり検査画像に対する理想的な出力画像を入力するだけで、その処理を実現する画像処理プログラムを自動生成する手法を提案し、さらに第 4 章では、その自動生成過程を人の思考過程・実装プロセスを考慮して拡張した手法について提案している。最後に第 5 章において、本研究の

まとめと今後の展望と課題を論じている。

〈審査申請論文の内容と評価〉

申請者 吉村裕一郎氏が提出した論文「外観検査自動化のための画像検査システム自動構築に関する研究」は、以下の全5章から構成されている。

第1章「緒言」では、本研究の背景として、製造分野における「実感品質」について言及し、外観検査によるその保証の重要性を述べた上で、モノづくりの現場における外観検査の位置付け、つまり外観検査に対する企業姿勢と、それに応えるべく開発されている現状の自動化システムの課題を、各種資料と産学共同研究において現役の生産技術者から得た知見に基づいて分析している。その上で、企業のニーズとそれに応えるための技術的課題を整理し、研究目的を定めている。

以上より、外観検査というモノづくりの現場に極めて近い実課題に潜在する学問的問いを顕在化することに成功しており、博士学位論文のテーマとして相応しい課題設定であると評価した。

第2章「品質工学に基づく検査画像処理ソフトウェア生成支援システム」では、製造物に関する知識を有するが、画像処理やプログラミングに関する知識は十分には持たない生産技術者や現場作業者が、検査画像処理のソフトウェアを開発できるシステムを提案している。これは、生産ラインをトータルの設計・運用する生産技術者は、当然、対象製品について「どの部分の」「何に注意して」観察すれば外観検査が達成されるかという知識を有しており、ある種の外観検査については、その知識を直接的に画像処理ソフトウェアに変換することが妥当であるとの主張に基づく。また、生産技術の現場では、技術開発・工程設計において品質工学に基づくアプローチがとられる。提案手法は、各種画像処理パラメータの最適化にこの品質工学の考え方が導入され、自動生成される検査画像処理の製造ラインにおける外乱に対する適用範囲や、そのパラメータや処理が選択された理由を明確化する。以上の成果については、産学共同研究において、現役の生産技術者による評価実験を実施し、その有効性を実証している。

このことから、本章における提案手法に対して、その学術的・技術的主張の独創性と、実装・実験結果に裏付けられた有用性を認めた。

第3章「画像処理ネットワークプログラミングに基づく検査画像処理アルゴリズム自動生成手法」では、検査画像(入力画像)とそれに対する理想的な、つまり欠陥像や検査対象が検出された2値画像(出力画像)を複数セット入力するだけで、それらの入力から出力に至る画像処理アルゴリズムが自動生成される手法を提案している。具体的には、まず、画像処理プログラムを有向グラフのネットワーク構造で表現した画像処理ネットワークプログラム(Image Processing Network Programming、以降IPNPと呼ぶ)を定義している。IPNPには各種画像処理コマンドやパラメータ設定処理、処理履歴における対象画像設定処理が割り当てられる処理ノードと、画像特徴を計測し、それによって遷移先を変更する判定ノードを持つ。目的に応じたIPNPの探索には、進化的計算手法を用い、IPNP群において、ノード関数やノード間の接続先を組み替え、評価しながら、目的の出力を得ることのできる検査画像処理アルゴリズムを自動生成する。以上の提案手法について、前景と背景の特徴が異なるテスト入力画像による実験、さらに、産学共同研究において、実ラインにおける課題についても実験を行い、その有効性を実証している。

以上、画像処理プログラムをコマンド群の組み合わせ最適化問題とする研究は古くから存在するが、従来研究の課題を整理し、新規的な手法を提案し、さらに検査画像処理における実運用に耐えうる実装に至るまで昇華した点は評価に値する。

第4章「人間の实装プロセスに学ぶ検査画像処理ソフト自動生成手法」では、第3章で提案したIPNPについて、その進化的計算による最適化過程に人間の思考、実装プロセスを考慮した拡張を行った。具体

的には、人間が画像処理プログラムを実装するのに、先ずは処理の大まかな流れを考え、次に各処理について具体的な画像処理コマンドを選択し、最後にそのパラメータを調整するといったプロセスを、IPNPのノードを入れ子構造にすることと、進化的計算の工夫によって実現している。特筆すべきは、以上の絞り込み過程を単純なトップダウン探索とはせず、人間と同様に各段階を行き来しながら、最終的にはパラメータ調整にて探索が収束する機能を有することである。以上の拡張によって、同様の課題に対する検査画像処理ソフトを生成した場合、第3章において示された基本的なIPNPに対して、ネットワークの規模が40%程度に縮小され、かつそれによる検出性能も大きく向上することを実験によって示している。また、近年、その技術進歩が著しい深層学習におけるDCNNとの比較実験においても、同等以上の検出性能を有することを示している。学習データの収集、ハイパーパラメータの設定等、総合的な手法の良し悪しの比較は難しいが、生産技術の現場における手法の説明責任等、外観検査自動化という実課題をアカデミアで解くことの問題提起は本論文の価値を高めている。

このことから、本章の提案手法は、独創性と、かつ基礎的検証及び産学共同研究における実課題を用いた実証実験により有効性が認められる。

第5章「結言」では本論文での主張を再度まとめ、得られた結果を要約し、結論を述べている。さらに今後の展望について示すことにより、本論文が今後の外観検査自動化研究における道標となった。

〈審査申請論文のオリジナリティの調査〉

本論文のオリジナリティについて、当該審査委員会の調査結果について報告する。特に論文剽窃チェックツール「iThenticate (アイセンティケイト)」の結果は以下の通りである。

- ・類似性指標は全体で24%であった。
- ・比較的高い割合で類似性が見られた箇所・内容については、参考文献表における記述部分との一致、もしくは執筆者本人の公開論文との一致であった。
- ・本文における執筆者本人の主張を記述した部分には、剽窃や盗用が疑われるような重大な類似性は見られなかった。

以上の結果を当該審査委員会において確認し、本論文のオリジナリティについて問題ないと判断した。

〈研究推進の評価〉

これらの研究によって生み出された成果について報告する。本論文の内容は、幾つかの学術論文としてまとめられ、国際会議及び国内学会・研究会・シンポジウムにおいて発表の機会を得ており、また、産学共同研究による技術移転も実施しており、研究内容が関連学協会及び産業界において十分な認知を得ている。

具体的には、本論文に直接的に関係する査読付き学術論文として、精密工学会論文誌、電気学会論文誌に計3件、国際会議発表としては、International Conference on Quality Control by Artificial Visionにて1件、国内学会発表としては、画像センシングシンポジウム、ビジョン技術の実利用ワークショップ等、計12件の発表がなされており、これらは全て申請者本人が筆頭著者となっている。また、動的画像処理実利用化ワークショップDIA2015では研究奨励賞の受賞を得ている。さらに、これらの成果は三菱自動車工業(株)生産技術本部と中京大学工学部青木研究室との産学共同研究において、実装・実証評価が実施され、産業界に波及している。

また、本論文に直接関係しない研究成果発表として、査読付き学術論文1件、解説記事2件、国内学会発表21件があり、これらは申請者が十分な研究実績を持つことの傍証になり得ると考えられる。

〈審査結果〉

以上の審査結果を総合的に判断して、本審査委員会は、申請者 吉村裕一郎氏の提出した論文は課程博士（情報科学）の学位論文として十分に適格であると認め、全員一致にて「合」と判定したので、ここに報告する。

審査概要および審査結果（最終試験）

1. 口頭試問の実施

当審査委員会は最終試験にかえて、2017年11月21日、2017年12月26日の予備審査会、ならびに2018年2月10日の公聴会において、申請者に論文内容に関する口頭発表を求めるとともに、専攻分野における学識と研究能力を審査するための口頭試問を行った。

2. 既刊論文の調査

当審査委員会は、2017年10月11日の申請論文受理時点で、申請者を筆頭著者とし、かつ、第三者の査読を経て採録されている関連論文を調査し、以下に示す4編がそれに該当することを確認した。

| 学術論文 | | | |
|--------------------------------|--|--|---------|
| 吉村裕一郎、青木公也 | 人の実装プロセスに学ぶ検査画像処理ソフト自動生成手法 | 電気学会論文誌C, Vol.137, No.9, pp.1201-1208 | 2017-9 |
| 吉村裕一郎、吉盛真平、青木公也、山磨誠治、藤井康司 | 生産技術者のための品質工学に基づく検査画像処理ソフトウェア生成支援システム | 精密工学会誌 Vol.82, No.12, pp.1103-1108 | 2016-12 |
| 吉村裕一郎、古家裕大、根来秀多、青木公也、山磨誠治、藤井康司 | 画像処理ネットワークプログラミングによる検査画像処理プログラム自動生成手法の検討 | 精密工学会誌, Vol.81, No.12, pp.1193-1197 | 2015-12 |
| 国際会議 | | | |
| Y. Yoshimura, K. Aoki | Automatic construction of image inspection algorithm by using image processing network programming | 13th International Conference on Quality Control by Artificial Vision (QCAV2017) | 2017-5 |

3. 最終試験結果

当審査委員会は、上記1. 及び2. の結果から、申請者 吉村裕一郎氏は、専攻分野における十分な学識と研究能力を有すると判断し、全員一致で最終試験を「合」と判定したので、ここに報告する。

審査経過

審査経過：

| | |
|-----------------|------------------------------|
| 2017年10月11日 | 論文受理 |
| 2017年10月11日 | 論文博士審査委員会設置（研究科委員会） |
| 2017年11月21日 | 第1回予備審査会（口述発表及び口頭試問） |
| 同日 | 第1回予備審査委員会開催 |
| 2017年12月26日 | 第2回予備審査会（口述発表及び口頭試問） |
| 同日 | 第2回予備審査委員会開催 |
| 2018年2月2日～2月10日 | 論文公示 |
| 2018年2月10日 | 公聴会開催（口述発表及び口頭試問） |
| 同日 | 審査委員会開催 |
| 2018年2月14日 | 研究科委員会に審査結果の報告 投票による合否の判定 |