

学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名	石川 卓
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	環情博甲第356号
学位授与年月日	平成27年3月25日
学位授与の根拠	学位規則(昭和28年4月1日文部省令第9号)第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項
研究科(学府)・専攻名	環境情報学府 情報メディア環境学専攻
学位論文題目	機械学習による紙特性管理手法の高度化に関する研究 (A Study on Improvement of Paper Property Management Method Using Machine Learning)
論文審査委員	主査 横浜国立大学 教授 長尾 智晴 横浜国立大学 教授 田村 直良 横浜国立大学 教授 森 辰則 横浜国立大学 准教授 岡嶋 克典 横浜国立大学 准教授 富井 尚志

論文及び審査結果の要旨

日本国内では、銀行券、諸証券、旅券およびID文書などの貴重印刷物がいずれも紙を基材として印刷されており、常に悪意をもつ者による偽造・変造などのリスクが伴う。安心・安全な経済活動や社会のために、それらの偽造防止技術を発展させることが必要不可欠である。これまでに透かし印刷や磁気インクの使用などの様々な印刷技術が駆使されているが、それらの技術も模倣される危険性がないとは言えない。そこで本論文では、財務省印刷局研究所に所属する社会人である論文提出者が、偽造印刷物の真偽判定、並びに製造物としての紙の品質管理にも有効な紙の特性の抽出・解析・判定のための画像処理技術を開発し、その有効性を実験を通して確認したもので、序論(第1章)と結論(第7章)を含めて7章から構成されている。

第2章「紙と紙料の評価方法」では、製紙に関わる基礎理論として、紙の定義・分類・材料・基本的性質・特性を表す指標・製紙用パルプの特性を表す指標について述べた後、従来の紙および紙料の評価技術およびその研究について述べ、それらの従来研究の問題点を考察して本研究の解決すべき課題と意義を明らかにしている。

第3章「本研究に関する機械学習手法」では、本研究が製紙および印刷業界を主な分野とする研究であることを踏まえ、それらの分野・業界ではあまり馴染みがない情報工学手法である機械学習手法について述べている。機械学習の中でも、本研究に特に関連性の深い手法として、進化計算法、ニューラルネットワーク、サポートベクタマシンについて紹介し、専門外の読者が本研究の内容をより深く理解できるよう配慮している。さらに、それらの機械学習を用いて紙の製造管理に関する従来研究について述べ、その問題点を明らかにしている。

第4章「特徴量選択型SVMによる紙の分類の自動構築」以降で、本研究で提案する手法について述べている。本章では、紙の赤外線画像に対する各種の画像特徴量を提案するとともに、それらの中から、分類に真に有効な特徴だけを、学習用画像セットに対する機械学習を通して求めている。提案する複数種の特徴量群から、ある特徴量を使用する／しないを決定すること

は組み合わせ最適化問題であり、ここでは進化計算法を用いて最適化を行なっている。これによって有効な特徴量を効率良く選択し、分類器である SVM (Support Vector Machine) によって分類することで、学習に用いなかった未知の紙画像を高精度に分類することができることを実験的に示している。

第5章「Evolutionary Decision Network を用いた紙の分類器の自動構築」では、決定木を包含するネットワーク構造である決定ネットワークを進化計算法で最適化する、論文提出者が所属する研究室の責任指導教員である長尾らによって提案された EDEN (Evolutionary Decision Network) と称する方式を紙の分類問題に適用している。第4章で選択された特徴量は、その理由や分類の意味づけが人にとってやや不明確であったが、EDEN を用いることで対象の紙画像を段階的に特徴量の大小判定だけで分類することができ、コンピュータによる分類過程が明確になり、人に対する説得力を向上させることができたと述べている。

第6章「Cartesian Genetic Programming を用いた紙の特性予測器の自動構築」では、あらかじめ用意した演算ノードを組み合わせることで多項式を最適化する進化計算法である CGP (Cartesian Genetic Programming) を用いることで、繊維特徴量から、製紙後の紙の特性を予測する予測式を自動構築する方法と、その実験結果について述べている。それらの結果を基に、本方式は、繊維の段階から紙の素性を予測することができ、紙の判別だけでなく、製紙の際の品質管理に対しても有効であると述べている。

第7章「総括」では、本研究で得られた成果を総括している。

以上のように、本論文は、紙幣・証券など、偽造・変造が厳しく防止されるべき紙に対し、その赤外線画像を求めるだけで真偽判定を行う画期的な画像処理技術を開発するとともに、製紙工程の管理への有効性も示したもので、学術的進歩性が高いとともに、我が国の印刷・製紙分野への情報技術の適用として非常に実用性が高い。研究成果の公表は、職務上、機密保持の観点から对外発表を控える必要があったが、査読付き論文誌の正論文2編および学会での口頭発表を通して公表され、いずれも非常に高く評価されている。

以上から本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値を有すると審査委員全員一致して認め、平成27年1月30日(月)10時00分から11時30分まで総合研究棟1階S113室において博士論文発表会(公聴会)を開催した。博士論文発表会では充実した質疑応答がなされた。

同日11時30分より12時00分まで、同室において審査委員全員出席のもと、石川 卓氏の最終試験を行った。はじめに同氏より博士論文の内容と関連する学術論文の公表状況について説明があり、審査委員からは博士論文に関する質問、画像処理を中心とする専門分野および情報学・工学関連分野における専門知識に関する質問がなされた。この質疑応答の結果、専門知識、博士論文の内容の公表状況について十分であることを確認した。外国語については、英語による学術論文を執筆していることをもって学力を確認した。また、履修単位が修了要件を満たすことを確認した。これらから、同氏は最終試験に合格であると、審査委員全員一致で判定した。

以上の論文審査委員会の結論に基づき、環境情報学府 情報メディア環境学専攻会議にて審議し、全員一致で本論文を博士(工学)の学位論文としての価値があるものとして環境情報学府教授会に付議することを決定した。その後、環境情報学府学務委員会での確認を経て、平成27年3月9日(月)に開催された環境情報学府教授会において審議を行い、無記名投票により、石川 卓氏に博士(工学)の学位を授与することを決定した。