

学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏 名	永田 智洋
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	環情博甲第 360 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	セルラ進化型回路網による画像処理回路の自動構築とそのハード ウェア化 (Automatic Construction of Image Processing Circuit with Cellular Evolutionary Network and Its Hardware Implementation)
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

画像処理を実際の処理装置やチップなどに実装する際、始めに画像処理ソフトウェア技術者が処理アルゴリズムを開発し、C 言語などのプログラミング言語のプログラムで実現して性能を評価した後、組み込み系の技術者が、使用可能な記憶領域や必要可能なゲート数などの実装上の制約を考慮し、必要に応じてアルゴリズムを改変してから回路を設計して回路化を行なう。一般に、アルゴリズムの開発から回路設計までに非常に長い時間と人による膨大な試行錯誤が必要であり、画像処理回路設計の抜本的な効率化が必要とされていた。本論文は、機械学習に基づき、学習用事例をコンピュータに入力するだけで、アルゴリズムとプログラムの開発を行うことなく、必要な画像処理回路を直接設計する手法を提案し、超解像回路とステレオ距離計測回路の自動構築に適用してその有効性を示したものであり、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「関連研究」では、本論文に関連する従来研究について述べている。始めに論文提出者が所属する研究室で提案された複数種の処理ユニットの選択と接続状態を進化計算法で最適化する進化型神経回路網である RFCN（Real-valued Flexibly Connected Neural Network）について述べた後、本研究の基礎となる RFCN をセル状に配置した構造をもつ CEN（Cellular Evolutionary Neural Network）の原理について述べ、本論文で解決すべき課題と提案手法の意義を明らかにしている。

第 3 章「超解像処理回路の自動構築」では、低解像度画像を高解像度化する超解像回路を自動設計する問題に CEN を適用する方法と実験結果について述べている。提案方式では、高解像画像（正解画像）とその縮小画像（超解像対象の原画像）を複数セット用意し、原画像から正解画像への局所的な画素配置の変換事例を学習用事例として用いた機械学習によって回路を自動構築するとともに、実験を通して自動構築した超解像処理の性能を評価している。その結果、提案手法の画質が世界最高レベルの従来法（Glasner らによる極めて複雑な手法）とほぼ同等の画質であるとともに、処理速度が約 1,000 倍、GPU（Graphic Processing Unit）を用いることで約 1 万倍、高速であることを示している。超解像処理は、4K、8K など画像の解像度が高くなるに伴い、一般に処理速度が画素数に比例して増加するため、処理速度が高速であ

ることが求められ、提案手法が従来手法より圧倒的に優位であると述べている。

第4章「視差伝搬に基づくステレオマッチング回路の自動構築」では、左右2台のカメラによって撮影された視差のある2枚の画像から三角測量の原理によって画像中の各画素までの距離を求めるステレオマッチング処理の回路を提案する方式で自動構築した結果について述べている。ステレオマッチング処理の原理は以前から知られているが、左右の画像間の対応点を決定することができない階調変化が緩やかな部分では正しい距離を求めることが困難である。このため、これまでに整合性の高い距離画像を作るためのアルゴリズムがいくつか提案されているが、いずれも一長一短があり、様々なステレオ画像に適用可能な汎用性の高い手法は確立されていない。提案手法では、初期視差対応処理によって得た視差データの初期状態に対して、各画素の視差をセル型回路によって周囲に伝搬させて領域としての整合性を高めることで、様々なステレオ画像に対して、いずれも従来法よりも高精度かつ高速な距離計測が可能な回路を自動構築することができることを実験を通して示し、提案手法の有効性を示している。

第5章「視差拡散・吸収に基づくステレオマッチング回路の自動構築」では、第4章で提案した方式をさらに拡張し、初期視差の拡散・吸収処理を行うことでステレオ計測の精度をさらに向上させた改良手法について述べ、実験によりその有効性を示している。

第6章「自動構築した画像処理回路のハードウェア化」では、第3章で扱った超解像回路を対象として、回路シミュレータ Verilog-HDL を用いて実際に回路設計を行なっている。タイミング解析、ゲートレベルシミュレーション等を行なって素子レベルで回路設計を行ない、提案手法によって所定の性能を満たす回路を自動設計することができることを示すことで、提案手法によってアルゴリズム・プログラム開発から回路設計までの一連の処理を全自動化することができたと述べている。

第7章「結論」では、本論文全体のまとめを行なっている。

以上のように、本研究は、進化計算法を用いた機械学習によって、画像処理のアルゴリズムおよびソフトウェアの開発を行わずに、直接、必要な回路を自動構築する方式を提案し、超解像処理とステレオ計測処理に適用してその有効性を示すとともに、ハードウェアシミュレーションを行なって実際に回路化可能であることを示したものであり、学術的新規性並びに産業への実用性が高い。特に産業界からは本研究の成果について大きな関心が寄せられている。本研究の成果は査読付き論文誌の正論文1編、正論文相当のフルペーパー査読付き国際会議論文2編、および多数の口頭発表や一般誌の記事などで公表されいずれも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16日(金)13時00分から14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14時30分より15時00分まで、同室において審査委員全員出席のもと、永田智洋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、英語による国際会議発表の実績があ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、永田智洋氏に博士(工学)の学位を授与することを決定した。