

## 審査の結果の要旨

氏 名 加 藤 淳

本研究は、カメラ映像のリアルタイム処理やロボットの制御のような実世界入出力を伴うプログラムに対して、開発環境と実行環境の溝をなくすことをその目標としている。そして、実世界入出力を伴うプログラムを開発するための統合開発支援環境 (IDE) において、例として提示される実世界入出力のデータを画像表現により活用する手法を提案・実装し、その評価を与えている。すなわち、本研究では、例示した実世界入出力のデータを活用しつつプログラムを開発することを Programming with Example (PwE) と呼び、PwEを支援するために、実世界入出力のデータを写真や動画のような画像表現によりIDEに統合する手法を提案している。特に、実世界入出力を伴うプログラムを

$$\text{out} = f(\text{in}; c)$$

というモデルで表し、定数 $c$ 、変数 $\text{in}$ と $\text{out}$ 、そして関数 $f$ のそれぞれに対応する画像表現について議論している。

本論文は7章から成る。第1章では、本研究の動機、貢献、本論文の構成が述べられている。第2章では、本研究の背景が解説されている。第3章において、実世界入出力の特徴付けを行い、PwEの概念を導入し、画像表現をIDEに統合する手法について概説している。続く第4章から第6章まで、PwEの考えも基づいて開発されたIDEのそれぞれに関して、関連研究、試作システムの概要、実装、ユーザによる評価が与えられている。

第4章では、実世界における状況を表す静的な定数 $c$ を、写真を用いて表す手法について議論している。試作システムとして、人やロボットの姿勢情報を処理するアプリケーションの開発を支援する Picode IDE が提案されている。このIDEでは、文字表現が難しい、人やロボットの姿勢データを写真で表し、ソースコードエディタに直接に貼り付けることができる。また、写真撮影と姿勢データの取得を同時に行うことで、静的データを活用するPwEを支援している。写真によって実際の姿勢が想像しやすくなるため、直感的なコーディングを実現することができる。

第5章では、プログラム実行中に動的に変化する変数 $\text{in}$ と $\text{out}$ を動画を用いて表す手法について議論されている。試作システムとして、インタラクティブなカメラ入力を用いるアプリケーションの開発を支援する DeJaVu IDE が提案されている。カメラ入力、変数およびウィンドウ出力を可視化し、さらに自動的に録画することで、プログラムの

動的な挙動を記録して活用するPwEを支援している。録画データを動画プレイヤーのように再生して挙動を深く理解したり、修正したプログラムに入力データを再度与えてデバッグを行ったりすることができる。

第6章では、プログラムの処理内容fを、文字列ベースのソースコードだけでなく、画像表現に対する編集操作も利用しながら指定する手法について議論されている。試作システムとして、定点カメラで撮影された動画から有用な情報を抽出する画像処理アプリケーションの開発を支援する Visionsketch IDE が提案されている。動画像のなかで興味のある領域を図形ツールにより描画することで、適用可能な画像処理を絞り込んだり、画像処理のパラメタを直感的に指定したりすることができる。以上のようなPwEは、プログラムを開発する際にまず入力データとなる動画を指定することで可能となっている。

第7章において、本研究の貢献についてまとめられ、将来研究について示唆されている。たとえば、画像以外の音や触感、匂いや味などを利用する可能性について言及されている。

第4章から第6章で詳述されているIDEは、いずれも、実世界入出力の例示データの画像表現を文字列ベースのプログラミングに取り入れることで、プログラムのワークフロー全体を支援している。第7章でも述べられているように、実世界入出力を伴うプログラムの開発において例示データの活用は不可欠であり、本研究の知見は、将来に亘って、実世界入出力を伴うプログラムの開発支援手法における重要な基盤となると考えられる。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。