

審査の結果の要旨

服部健太

本論文は全部で8章から構成されている。第1章は、本論文の背景と目的についての記述である。通信プロトコルの実装で困難な点の1つは、複雑なメッセージ形式の解析と、非同期に発生するイベントや複数のI/Oを適切に処理することであるということを示し、具体的な例を挙げて説明している。そして、本論文の目的は、並行性と正規表現をサポートするプログラミング言語を利用することによって、通信プロトコルの実装を簡潔にすることであるとしている。

第2章では、通信プロトコルの一般的な構造について述べるとともに、通信アプリケーションにおけるいくつかの典型的なモデルについて説明している。また、それらを実装する際に選択肢となりうる複数のI/O方式や実装スタイルを解説している。

第3章では、新しいプログラミング言語である **Preccs** を導入している。**Preccs** は、プロセスとチャンネルにもとづく並行プログラミング言語であり、同期メッセージパッシングモデルを採用している。本章では、**Preccs** の基本的な言語機能を豊富なプログラム例を示しながら解説している。また、**Preccs** を用いた典型的なプログラミング技法とスタイルをいくつか紹介している。

第4章では、本論文で提案する言語機構である I/O チャンネルと拡張正規表現型について述べている。I/O チャンネルはソケットやファイルなどのディスクリプタと関連付けられた特別なチャンネルであり、プログラムはネットワークやファイルに対する入出力処理を、I/O チャンネルに対するデータの送受信として透過的に記述することが可能となる。通信プロトコルにおいては、TLV(Type-Length-Value)形式と呼ばれる可変長のデータ構造を含んだメッセージ形式が用いられることが多い。拡張正規表現は TLV 形式を直接的に記述できるように正規表現を独自に拡張したものである。**Preccs** は型システムの一部として、拡張正規表現を組み込んでいる。本章では、複雑なメッセージ形式も、拡張正規表現型によって簡潔かつ宣言的に定義することが可能であり、また、拡張正規表現型によるパターンマッチによって受信メッセージの種類による処理の振り分けが明確に記述できることを示している。

第5章では、前章で提案した手法の一つである拡張正規表現について、高速なパターンマッチを実現するための手法を提案している。拡張正規表現はフィールドの値を参照することによる繰返しの表現を含むため、通常の決定性有限オートマトン (DFA) を用いたパターンマッチは不可能である。そこで、本論文では、オートマトンにカウンタを追加し、状態遷移に際してカウンタに対するいくつかの操作を許したカウンタオートマトンを導入する。このカウンタオートマトンは拡張正規表現を判別することが可能である。そして、拡張正規表現から対応する決定性カウンタオートマトンを構成する手法を開発する。また、スキップ処理を導入することで、部分型関係を持つような正規表現型のパターンマッチを高速化する手法についても述べている。そして、いくつかのパターンマッチにおける処理時間を計測した実験によって、これらの提案手法が有効であることを示した。

第6章では、**Preccs** 言語処理系の実装について説明している。**Preccs** プロセスはコンパイラによって複数のクロージャに変換され、それらを実行時ライブラリのディスパッチャが一つ一つ実行していくことによって、軽量なプロセスを実現している。I/O チャンネルに対する値の送受信は、実行時ライブラリによる非同期 I/O 要求を発行することで処理される。これにより、**Preccs** プログラム全体の実行は、途中の I/O 処理に対しても不必要にブロックされることなく円滑に進められる。

正規表現型のデータ表現は、文字列型と互換性を保つように巧妙に設計されており、これによって正規表現型のデータをそのまま文字列として扱うことを可能にしている。

第7章では、いくつかの典型的な通信プロトコルに対して、Preccsを用いた実装を行い、評価を行なっている。本論文で提案する拡張正規表現によって、実際の通信プロトコルのメッセージ形式が簡潔に記述できることを、また、プロセスとI/Oチャンネルを用いることで、様々なタイプの通信プロトコル手順を柔軟に記述できることを、具体的なPreccsプログラムとともに示している。さらに、HTTPサーバとiSCSIターゲットにおいては、C言語によって実装された代表的なソフトウェアとの性能比較を行ない、その結果、十分に実用的な性能で処理できることが示されている。

第8章では、本論文の貢献をまとめ、Preccsにおける例外処理の扱いなどの残された課題について議論し、今後の研究の方向性について述べている。

本論文では、通信プロトコルの実装を簡潔に記述するための言語機構として、I/Oチャンネルと拡張正規表現型という二つの新しい機構を提案した。さらに、これらの機構を実現するためのプログラミング言語Preccsを新たに設計し、その処理系を実際に開発した。実際の通信プロトコルに対するPreccsの適用実験の結果から、提案する機構が有効なことを確認した。

以上のように、本論文は、内容の新規性とともな、情報理工学における創造的実践に関して高い価値が認められる。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。