Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-04-30

高級言語向きスタックマシンに関する研究 : Forthマシンと Pascalマシンの実現と評価

和田, 耕一

(Degree)
博士（学術）

(Date of Degree)
1984-03-31

(Date of Publication)
2008-11-06

(Resource Type)
doctoral thesis

(Report Number)
甲0465

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1000465

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。

氏名・（本籍） 和田耕一（わだこういち） （大阪府）
学位の種類 学術博士
学位記番号 学博い第36号
学位授与の要件 学位規則第5条第1項該当
学位授与の日付 昭和59年3月31日
学位論文題目 **高級言語向きスタックマシンに関する研究**
－Forth マシンとPascal マシンの実現と評価－

審査委員 主査 教授 前川禎男
教授 瀬口靖幸 教授 松本治弥
教授 村上温夫

論文内容の要旨

高級言語で記述されたプログラムを，従来の計算機上で実行する場合，原始プログラムは，目的コードである機械語に翻訳され，実行される。ここで，機械語は単純な算術・論理演算やメモリの参照命令など，従来の計算機構造の特性を反映した機能を持つ命令セットで成り立っており，その機能レベルは非常に低い。従って，機能レベルの高い高級言語によるプログラムを翻訳した場合，目的コードとの意味的な差が大きく，プロセッサ内およびプロセッサとメモリ間で冗長なデータ転送を行う命令が生成されるなど，実行時の効率が悪い。

そこで，高級言語の言語構造や言語処理系の構造を考慮して，それらに計算機構造を適合させ，かつ機械語の機能レベルを向上させて処理効率の改善をはかろうというものが高級言語マシンである。

様々な高級言語がある中で，近年，制御分野をはじめ，画像処理やデータベース等の応用分野でForth 言語が注目され，広く使われている。従来の計算機上でのForth 処理系は，あらゆる演算の中心となって働く演算用スタックと，プログラムの実行過程における順序制御用スタックをそれぞれソフトウェアで実現しており，スタック機能を基本とした仮想スタックマシンの構造を持っている。

スタックマシンは，高級言語マシンの一構成法といわれている。従って，Forth 言語を手掛かりとして設計された計算機は，スタックマシンの構造を持つため，他言語に対しても有効に動作する高級言語マシンになり得ると考えられる。

本研究では，2種類のスタックを中心とした処理系の構造を持つForth 言語を主対象言語に選んだ高級言語マシン（本論文では，High Level Language Engine と呼び，以下HLL エンジンと記す。）

を開発した。さらに，本HLL エンジン上に，Pascal プログラムを高速に実行できるPascal マシンを実現する方法について述べ，Forth マシンとPascal マシンのそれぞれについての性能評価を行った。

本論文は，以下のような構成になっている。

第1章の緒論では，高級言語マシンの意義と背景について述べ，高級言語マシン実現の一方法であるスタックマシンの利点について述べた。また，本HLL エンジンの設計に際して，スタックに対する依存性が極めて高いForth 言語を基礎に置いたことについて述べた。

第2章では，Forth 言語の特徴と言語処理系の構造について述べ，HLL エンジンの基本設計について論じた。また，マイクロコンピュータ上で，ソフトウェアによる仮想スタック機構を用いて演算を行った場合，レジスタのみの場合に比べて約1/10に実行速度が低下し，さらに関数呼び出し等の実行順序制御にも仮想スタックを用いた場合，約1/20に低下することを，ベンチマークプログラムによるテストを行うことによって明らかにした。その結果より，Forth プログラムの高速実行における高機能スタックの必要性を確認した。また，設計に関しては，以下の様に方針を定めた。

① マイクロプログラム制御方式を採用する。
② Z－80マイクロコンピュータをホストコンピュータとする複合計算機システムの形態をとる。
③ ハードウェアによる強力なスタックを備える。
④ Forth 言語の機能を有効に利用して，ユーザプログラムは全てマイクロプログラムに翻訳する。
⑤ 変数専用高速メモリを備える。
⑥ データ転送専用のハードウェアを設ける。

第3章では，前章で論じた基本方針に従って設計されたHLL エンジンシステムの全体構成を示した。また，HLL エンジンの有するハードウエアモジュールの，個々の機能や構成について述べた。特に，スタックのトップとセカンドにある値を同時に読み出せる機能を持たせた演算用スタックであるパラメータスタックについては，内部動作も含めて詳述した。また，マイクロ命令の構成について述べ，本エンジンのマイクロ命令は，Forth 言語の基本命令の多くを1マイクロ命令で実行できる機能を持つことを示した。さらに，本システムのハードウェアサイズを示し，実装に際して注意を払った点を述べた。

第4章では，本HLL エンジン上に，Forth プログラムを高速に実行できるForth マシンを実現する方法について論じた。まず，ホストコンピュータ上に開発した，Forth 処理系の中核を為すテキストインタプリタについて述べた。Forth プログラムを翻訳した結果，ディクショナリエントリと呼ばれる，一種の目的コードが生成される。本システムにおいて，デイクショナリエントリは，ホストコンピュータ上とHLL エンジンの制御記憶上に存在する。そこで，双方を効率良く管理できるテキストインタプリタの構成と機能について考察し，それに従って開発を行った。また，Forth プログラム中で，マイクロ命令を利用できるマイクロアセンブラの開発について述べた。さらに，プログラム中でForth 言語の基本関数を利用したとき，関数呼び出し命令でなく，直接その関数に対応するマイクロ命令を生成する，直接マイクロコード生成型コンパイラを開発し，それについて述べた。続いて，ベンチマークテキストを用いて，本Forth マシンの性能評価を行い，以下の結果を得た。

① Z－80マイクロコンピュータ上でのForth プログラムと比較して，最高 522 倍の実行速度が得られた。

② 強力なパラメータスタックの機能は総実行ステップの 40 ～ 60 %で利用されており，Forth プログラムの高速実行に有効であることを確認した。特に，スタックのセカンドにある値を読み出せる機能は，高速実行に不可欠であることが明らかになった。

③ 変数専用高速メモリと，その内部バスとの接続関係は，配列操作に有効であることがわかった。

④ データ転送専用ハードウェアは，約50%の比率で利用されており，効果的に働いていることが確認できた。

第5章では，HLL エンジン上にPascal 言語を対象としたPascalマシンを実現する方法について論じた。Pascal プログラムは，多くの場合，Pマシン（Pseudo−machine ）と呼ばれる仮想スタックマシンの機械語であるPコード（Pseudo −code ）に翻訳され，Pコードを解釈することにより実行される。そこで，まず従来の計算機上でPマシンを実現する際に生じる欠点について考察した。そして，Pascal マシン実現の方針について論じた。さらに，Pコードについても考察し，HLL エンジンの構造に適合するように，機能を修正・追加したP^{+} コードを新たに提案した。また，P^{+} コードを生成するコンパイラを開発した。本Pascal マシンは，次の2通りの方法で実現した。

ⅰ）P（P^{+}）コードインタプリタをマイクロプログラム化する。

ⅱ）P（P^{+}）コードをマイクロ目的コードに翻訳し，さらに若干の最適化を施す。

続いて，本Pascal マシンの静的特性評価と，ベンチマークプログラムを用いた動的特性評価を行った。そして，以下に示す結果を得た。

① マイクロコンピュータ上のPascal と比較して，最高 584 倍の実行速度が得られた。

② P^{+}コードを用いたとき，従来のPコードの場合の最高約4倍の実行速度向上が得られ，計算機構造に適合した中間コードの効果が明らかになった。

③ パラメータスタックは，総実行ステップ数の 30 ～ 75 %で利用されており，Pascal プログラムの高速実行に重要な役割りを果たしていることがわかった。

その他，各ハードウェアモジュール毎の利用比率から，HLL エンジンは，Pascal マシンとしても有効に動作していることを明らかにした。

第6章の結論では，本論文を総括し，他言語への適用の可能性について論じ，今後の課題について述べた。

論文審査の結果の要旨

本論文は高級言語（高水準言語）で書かれたプログラムを高速で実行する能力をもつ，スタック構造のメモリを有する計算機に関する研究をまとめたもので，とくにForth 言語の高速処理を目ざした計算機とPascal 言語を対象とした計算機を中心として，その設計に関する諸問題と，試作したシステムの性能の評価について述べたものである。

一般に高級言語で記述されたプログラムを従来の計算機で実行する場合，原始プログラムは目的コードである機械語に翻訳され，しかる後，実行される。機械語は計算機の構造の特性を反映した機能をもつ命令セットで成り立っており，その機能レベルは低い。従って機能レベルの高い高級言語で書かれたプログラムを翻訳した場合，目的コード（機械語）との意味的な差が大きく，実行時にはプロセッサの内外での冗長なデータ転送を生じ，実行の効率が悪い。そこで，高級言語の言語構造や言語処理系の構造を分析し，それらに適合する構造の計算機を設計し，かつ機械語の機能レベルを向上させることにより，処理速度の改善が期待できる。

本論文では，最近制御工学等の分野で注目されているForth 言語をとりあげ，スタック機能を活用するこの言語の特徴を生かし，ハードウェア的にスタック構造のメモリを有するスタック型計算機の実現に関する諸問題を解決し，これに基づいて試作された計算機が，従来の計算機に比して極めて高い性能を示した結果を述べている。また，このスタックマシンは他のいくつかの高級言語に対しても高性能を示すものと考え，Pascal 言語についても同様の検討を行い，この言語を高速で実行するPascal マシンを実現し，その有効性を実証している。

本論文の第１章では，緒論として，高級言語マシンの意義と背景について述べ高級言語マシンの実現法の一つであるスタックマシンの利点について述べている。また，この種の計算機の実現に際して，スタック機構に対する依存性の高いForth 言語に基礎を置いた点について論じている。

第２章ではForth 言語の特徴について述べ，言語処理系について詳細に分析している。また，従来の計算機上でスタック型計算機のシミュレーションを行い設計方針の妥当性について検討し，スタックマシンを実現するための基礎的資料を得ている。

第３章ではこれまでの検討結果をふまえて，スタックマシンの構成の詳細について述べている。この計算機の特徴としては，

① マイクロプログラム制御方式によること。

② 入出力制御のためのホスト計算機と高級言語を処理するための高級言語演算モジュールとを結合させた複合計算機システムとすること。

③ ハードウェアによる強力なスタックメモリを有すること。

④ 変数専用高速メモリを備えていること。

⑤ その他データ転送用のハードウェアを備えていること。

などである。

第４章では，このスタックマシン上でForth 言語を実行するための，関連ソフトウェアに関する検討と実際に作成した結果を述べ，実験の結果，このスタックマシンはForth 言語の処理に対して優れた性能を示したことが述べられている。

第５章ではこのスタックマシンをPascal マシンとして利用するための方法について考察し，関連するソフトウェアについても論じている。また，実験の結果，Pascal マシンとしても優れた性能を有することを示している。

以上の様に本論文は高級言語向き計算機のありかたの一つをスタック型計算機で示し，高級言語計

算機の設計法に関して貴重な知見を得たとして，高く評価できる。

また，この種の計算機は今後の高度情報化社会における，高性能な情報処理システムの実現のための要素として将来性が期待できる。

本論文中に示された研究内容は，計算機工学，電子工学，システム科学，その他情報処理を必要とする多くの分野に寄与するところが大きいと考えられる。よって本論文提出者和田耕一は学術博士の学位を得る資格があると認める。