

情報処理技術者教育のための ハードウェアシミュレータの提案

野津 直貴, 池内 雄馬, 竹澤 真弘, 内田 智史
神奈川大学大学院

概要

現在、日本のソフトウェア産業ではオフショア開発が拡大してきている。その背景には、開発コストの削減、国内人材不足の補完があげられる。日本国内において、国内人材不足の補完のため、情報処理技術者に対する教育が行われているが、機械語や OS の内容に高度に踏み込んだコンピュータの仕組みを教育していない。

本研究では、情報処理技術者を目指す学生に対して、本格的なコンピュータシステムの教育環境を構築する。その手段として、仮想記憶機構を備えた仮想ハードウェアを設計し、そのシミュレータ、言語処理系およびそれらを理解させるための e-Learning システムを構築する。これらの仕組みを大学 3 年次の教育に適用し、その効果を検証する。

A proposal of hardware simulator for information processing specialist education

Naoki Notsu, Yuma Ikeuchi, Masahiro Takesawa, Satoshi Uchida
Kanagawa graduate school

Abstract

In an instruction to candidates to be a information processing specialists, it is necessary to teach a deep mechanism of a computer at the level of a machine language. In this research, we will construct the educational environment system of a simulated computer for students who are going to be information processing specialists. In order to achieve this purpose, we designed a virtual hardware system which had a virtual storage mechanism, a language processing system for the hardware, an e-Learning system to understand the simulator. The system will be applied to an education of a junior in order to verify the effectiveness of it.

1.はじめに

近年、情報サービス産業において、中国、インド、韓国などの海外では情報サービス産業が急速に発展している。図 1,2,3 から、ここ数年で飛躍的にこの 3 カ国の情報サービス産業における売上高が増加していることがわかる。このことから、これらの国々のエンジニアが着実に力をつけてきていることがうかがえる。図 4 より、日本市場の情報サービス産業の売上高は高いもののここ数年はほぼ横ばいであり、日本国内における売上高は頭打ちになっている。さらに、日本市場の売上高のうち、輸出入比率は輸出を 1 とした場合に、輸入は 100 以上であり、ほとんどが輸入に頼っている。輸出が極端に少ないことから、日本の世界での国際競争力が低いことがうかがえる。一方、近年の流れとして、ソフトウェア開発を海外に委託するオフショア開発が挙げられる。このオフショア開発のメリットは、開発コストの削減、日本国内における人材不足の補完があげられる。

特に後者については、日本において深刻な問題になっている。図 5,6 より、国別の情報系学科卒業者数および、国別情報系修士課程卒業者数を見ると、IT 革命と言われた 2000 年以降に日本を除く米国、中国、インドでは、卒業者数が急激に増加している。しかし、日本の卒業者数はこの 4 ヶ国の中で一番低い位置で横ばいしている。大学以降の専門教育は、将来のソフトウェア開発力を左右する重要な要素であり、卒業者数が今のままでは日本の IT 分野における技術力の維持・向上が困難になるであろう。

さらに、企業における高度 IT 技術者の人材不足はおよそ 50 万人以上であると推計されている(総務省調べ)。人材不足の理由としては、上記で述べた情報系を専攻する人の少なさがあげられ、結果として企業は、情報系に限らず文系など幅広い分野から人材確保を行う。人材不足から、企業に入社しても IT 教育に着手することが難しく、きちんと IT 教育を受けていない人が増加し、結果的に技術力の低下が起きてしまう。

日本において情報処理の指標の 1 つとして情報処理技術者試験があるが、機械語にまで踏み込んだコンピュータの仕組みを教育しているとは言い難い。上記まで踏み込んだ教育を行うことで、機械語まで考慮したプログラミングが行うことができ、質のよいソフトウェア開発につながるだろう。

本研究では、情報処理技術者を目指す学生に対して、本格的なコンピュータシステムの教育環境を構築する。そこで、仮想記憶機構を備えた仮想ハードウェアを設計し、そのシミュレータ、言語処理系およびそれらを理解させるための e-Learning システムを構築する。これらの仕組みを大学 3 年次の教育に適用し、その効果を検証する。

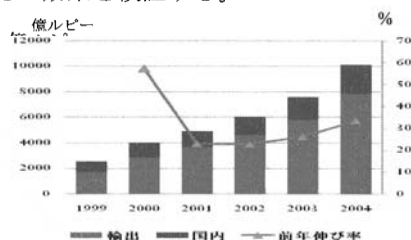


図 1 インドの情報サービス産業の売上高
[4] 出展: 総務省情報通信白書

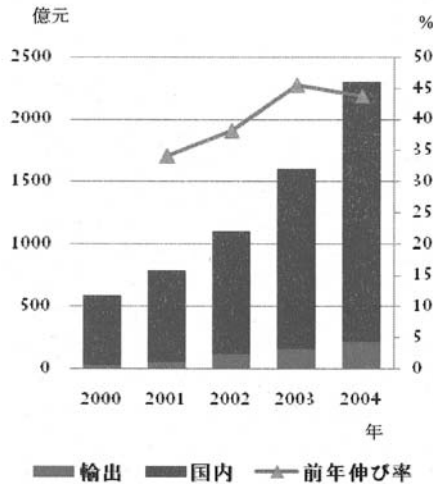


図2 中国の情報サービス産業の売上高
[4]

出展:総務省情報通信白書

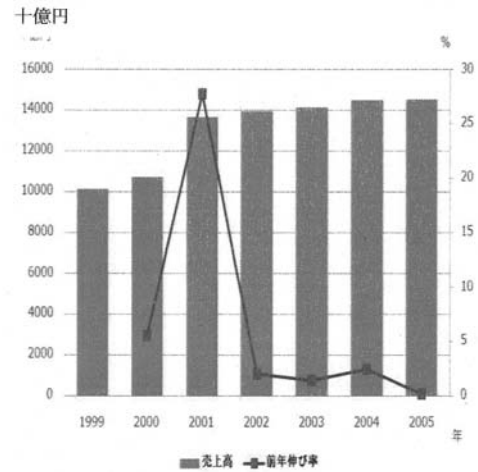


図4 日本の情報サービス産業の売上高
[4]

出展:総務省情報通信白書

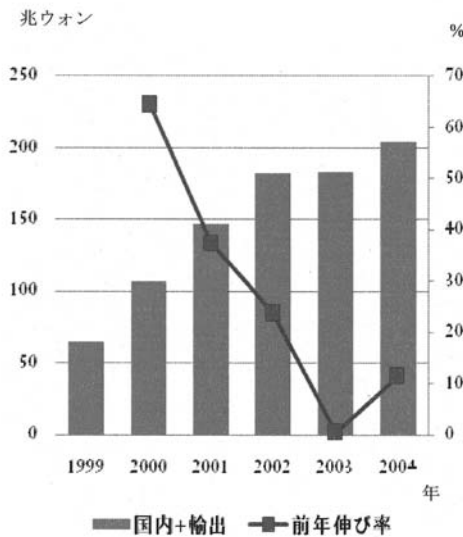


図3 韓国の情報サービス産業の売上高[4]

出展:総務省情報通信白書

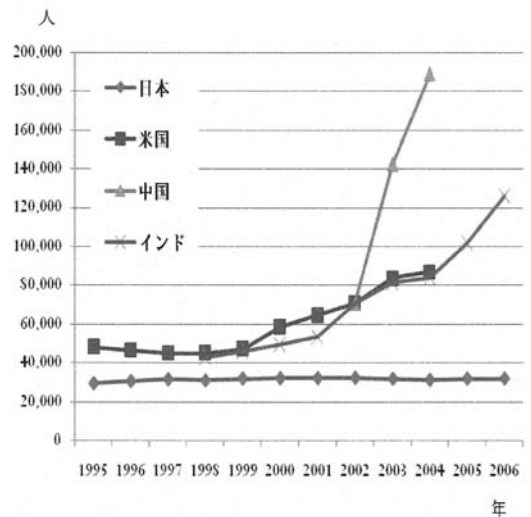


図5 国別の情報系学科卒業者数[4]

出展:総務省情報通信白書

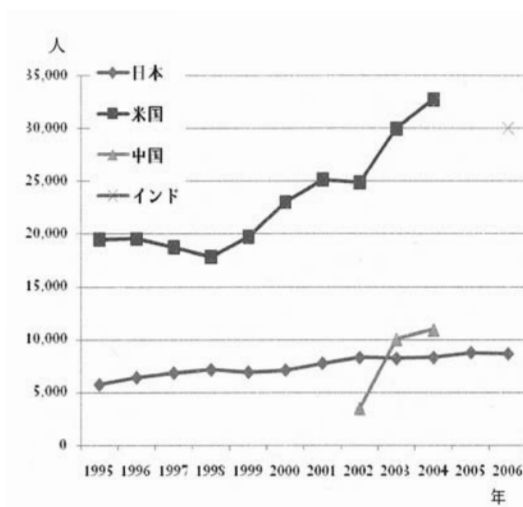


図 6 国別の情報系学科の修士課程卒業
者数[4]

出展: 総務省 情報通信白書

2. 前提知識

2.1 言語プロセッサ

2.1.1 アセンブラ言語

コンピュータがプログラムを直接実行する際に使われる言語は機械語である。機械語は 2 進数で表記されており、プログラムの内容がわかる人はいない。そのため、人間にわかりやすい形で機械語を記述するプログラミング言語がある。これをアセンブラ言語という。

アセンブラ言語は、C 言語や JAVA などとは違い命令の 1 つ 1 つが機械語と 1 対 1 に対応されている。そのため、人間にわかりやすいもっとも機械語に近い言語である。

アセンブラ言語を機械語に変換する事をアセンブルすると言い、それを行うプログラムの事をアセンブラと言う。

このアセンブラ言語を学ぶ上で広く使用

されているものが、CASL II である。

2.1.2 CASL II

CASL II は情報処理技術者試験のために仕様策定された仮想的なアセンブラ言語である。アセンブラ言語はハードウェアのアーキテクチャとの関連性が非常に強い言語である。そのため、受験者間での不公平さをなくすために、実在するどのアーキテクチャとも関連性がない仕様にする目的で開発された。さらに、コンピュータの仕組みやプログラムのロジックをわかりやすくするために単純化されている。この CASL II によって動作する仮想の計算機を COMET II という。

表 1 に CASL II の機械語命令の種類を記す。

2.2 CASL シミュレータ

CASL II の開発環境として、本研究室にて開発された「CASLDV」がある[3]。CASLDV では、学習者が学習しやすいように、さまざまな配慮がされている。これは、エディタやデバッガを含む本格的なもので、学習者が作成した CASL II のプログラムが COMET II 上で動作する様子をグラフィックスでよくわかるようになっている。さらに、CASLDV では単にプログラムを組むことを支援するだけでなく、COMET II の機械語命令の動作の様子を CPU や主記憶装置との関係とともにグラフィカルに示してくれる。図 7 にて、CASLDV の画面を示す。

表 1 CASL II の機械語命令の種類

種類
ロード命令
ストア命令
ロードアドレス命令
算術加減算命令
論理加減算命令
論理演算命令
比較演算命令
シフト演算命令
分岐命令
スタック操作命令
コール・リターン命令
その他の命令



図 7 CASL DV の画面

3. 研究方法

情報教育においてコンピュータシステムを理解させることは容易であると言い難い。その理由の 1 つとして、対象が見えないためどういった処理をおこなっているか理解しづらい点が挙げられる。これらは実際にプログラムを組み体験することで理解しやすいとされている。

そこで、これらを体験できる総合学習環境

を提案する。提案内容は、新しいアセンブラとして教育用アセンブラとそれを実行するハードウェアモデルを設計する。設計された教育用アセンブラ、ハードウェアモデルの学習環境、簡易的な C コンパイラを組み込んだコンピュータシステムのシミュレータを開発する。なお、本システムはエンジニアの中級者以上を目指す人を対象とする。

3.1 システム概要

本システムでは、言語処理系として C 言語とアセンブラ言語の 2 種類の言語を用意する。

まず C 言語によるプログラムあるいはアセンブラによるプログラムを記述する。図 8 より、C 言語によるプログラムの場合には、まずコンパイルをすることで中間コードであるアセンブラ言語に変換される。この変換されたアセンブラプログラムあるいは記述したアセンブラプログラムをアセンブルすることでプログラムが実行され結果が表示される。

この実行される手順をハードウェアシミュレータにて、GUI 上でグラフィカルに表示をすることで、コンピュータ内部でどのような処理をしているか確認ができる。さらに、デバッガの導入により、デバッグを可能とする。

3.1 教育用アセンブラ、ハードウェアモデル

CASL II は非常に簡素なアセンブラ言語であるため、限られた命令の処理しか行うことができない。これは表 1 からわかる。現在主流である Pentium などの処理命令は 100 以上であることから CASL II がどれだけ処理命令が少ないかがえる。

本来 CASL II はコンピュータの基礎的なことを学習する目的で開発された言語のため命令数が少ないが、処理が少なすぎるためコンピュータの基礎的なもののすべてをカバーすることができない。さらには、応用的なことを学習することもできない。例をあげると、マルチスレッドのプログラムを CASL II で記述することは困難である。

そこで、本研究で開発する教育用アセンブラ、ハードウェアモデルでは、現実のコンピュータにより近い設計をし、マルチスレッドなどのプログラムを可能とする。しかし、現実のコンピュータの命令をすべて採択すると、プログラムはおろか、設計も困難になるため、コンピュータに関する知識を学習する上で必要となる処理命令を採用する。採用処理命令については現在検討中である。

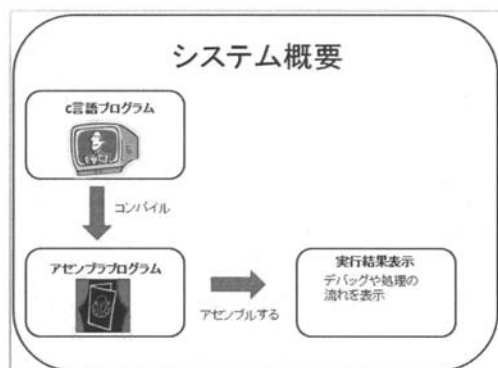


図8 システム概要

さらに、本研究にて開発するハードウェアシミュレータでは C 言語によるプログラミングを行うが、COMET II にはスタックフレームが実装されていない。そのため、C 言語のオブジェクトをモデル化できないという致命的欠陥がある(図 9)。そこで、COMET II の命令体系を全面的に見直すことで、この問題点の解決を計る。その際、TRON、およ

び Pentium プロセッサの命令体系を参考とする。

今現在、導入予定のハードウェアモデルのスペックを図 10 に示す。

CASL II では整数型しか取り扱えないので、浮動小数点演算により、浮動小数点の演算を可能とする。10 進数演算により、10 進数による演算を可能とする。トラップ機能により、コンピュータに何らかの例外処理が起こった際に特定の処理を行わせる。スタックフレームを実装することで、C 言語によるプログラミングを可能とする。文字列処理命令により、連続するデータ列を簡単に処理できるようにする。メモリをセグメント方式とすることで、OS 導入時の安定性の確保をする。

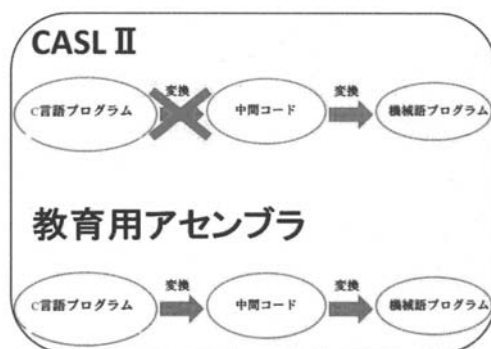


図9 C 言語プログラムの処理手順

3.2 C コンパイラ

本システムの特徴として C 言語によるプログラミングを可能とする。なぜ C 言語によるプログラミングを導入するかというと、アセンブラ言語で記述することが困難なプログラムが多数存在する。例をあげると、マルチスレッドのプログラムなどがそうである。そこで、C 言語によりマルチスレッドを実行できるようなプログラムを記述する。そして、C コンパイラでコンパイルをすること

で自動的にアセンブラ言語のプログラムに変換を行う。これにより、プログラミングの幅を広くすることを可能とする。

C コンパイラの命令については、あくまでも教育用 C コンパイラということで、学習する上で必要となる命令についてのみ実装をする予定である。

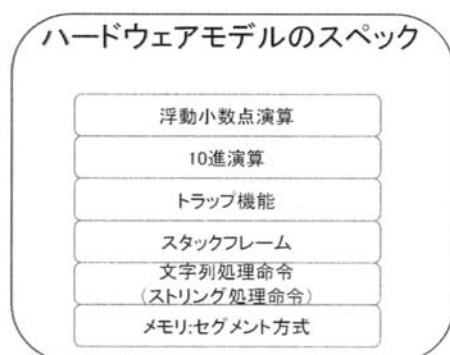


図 10 ハードウェアモデルのスペック

3.3 教育用学習環境

従来のアセンブラシミュレータ、特に CASL シミュレータでは、CASL II、COMET II が非常に簡素であるためコンピュータシステムの基本的ロジックの一部しかプログラミングを通じて学習ができなかった。そのため、オーバーレイ、マルチスレッドといった仕組みを教育することは非常に困難であった。そこで、本研究にて開発する教育用アセンブラ、ハードウェアモデル、C コンパイラを統合した総合的学習環境(ハードウェアシミュレータ)を開発し、これにより情報処理技術者教育を可能とする。

ハードウェアシミュレータの構造としては、C コンパイラ、アセンブラ、モニタレベルの OS、ハードウェアモデル、デバッガである。プログラムの実行種類は、高速実行、トレース実行、1 命令ずつのステップ実行、

ブレークポイントまでの実行を可能とする。

4. まとめ

本研究では COMET II の命令体系を全面的に見直し、教育用アセンブラ、ハードウェアモデルを開発する。それに伴う、コンピュータシステムのシミュレータによる総合学習環境の提案をした。

本研究で開発するシステムにより、現状の CASL II では不可能な C 言語によるプログラミングや教育用アセンブラにより、今まで限定的であったプログラミングの範囲が広がり、機械語や OS の内容に高度に踏み込んだコンピュータの仕組みを学ぶことが可能になると考える。

5. 今後の課題

今後の課題を以下に列挙する。

- ・ハードウェアモデルの設計を行い、教育用アセンブラの仕様を確定する。
- ・C コンパイラの設計、開発をし、教育用学習環境の開発に着手する。

参考文献

- [1] 情報処理学会研究報告. コンピュータと教育 研究報告, 2001-CE-59-11, Vol.2001, No.34, pp.77-84(2001)
- [2] 情報処理学会研究報告. ヒューマンインタフェース 研究報告, 2002-HI-99-8, Vol.2002, No.76, pp.55-62(2002)
- [3] 内田智史, 「アセンブラ入門 CASL II」, 電子開発学園出版局, (2001)
- [4] 総務省 「平成 19 年版 情報通信白書」, (2007)