

N-025

言語処理系を備えた教育用計算機シミュレータの設計と試作

Design and Prototyping of an Educational Computer Simulator Equipped with a Compiler

三浦 義之† 金子 敬一† 中川 正樹†
Yoshiyuki Miura Keiichi Kaneko Masaki Nakagawa

1. 導入

今日、情報技術の発達に伴い、理系だけでなく文系の学生に対する情報教育の要求が高まっている。十分これに応えるためには、単なるリテラシー教育ではなく、計算機システムの動作原理を理解させることが大切である。マルチメディアに基づく E-Learning を利用した、色々な計算機シミュレータが提案され[1,3,5]、Chung らによりシミュレーションに基づいた学習の重要性が指摘されている[2]。これらのシステムは、アセンブリ言語、機械語、ハードウェアの動作原理の理解に役立っている。しかしながら、これらのシステムは論理シミュレーションを教える傾向が強く[4]、初心者にとって、一般のソフトウェアの開発手順や、高水準プログラミング言語によって記述されたプログラムの動作原理についての理解を得ることができない。

このため、本研究では、教育用のプログラミング言語を開発し、従来の計算機シミュレータ ED9900[6]に、小さなエディタとコンパイラを備えた新しいシステムを実現することを目指した。中核となるシミュレータは、従来の計算機シミュレータ ED9900 を発展させ、インデックスレジスタの追加といったアーキテクチャの拡張や実行速度の制御、エディタ起動ボタンの付加といった機能の拡張を行った。以下、新しいシステムを ED21 と呼ぶことにする。

2. 基本的な仕様

2.1 システム設計

前章で述べた目的を達成するために、プログラムの動作原理を学習することができるシステムを組み込んだ計算機シミュレータの実現を目指した。このシステムは、従来の計算機シミュレータ ED9900 を基礎とし、これにコンパイラ、エディタを付加して得られる(図1参照)。

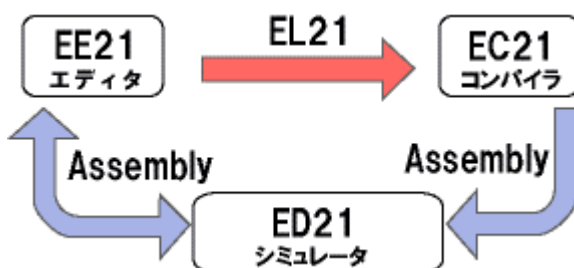


図1 計算機シミュレータ ED21 の概観

2.2 プログラミング言語

実際の高水準プログラミング言語は、非常に複雑であるため、これをそのまま導入することは不可能であると同時に、初学者の教育にとっては望ましくない。そこで、新しくプログラミング言語を開発することとした。この言語は、以下の条件を満たすことが必要である：

1. 一目見ただけで、言語の構成要素を理解できる程度に十分に小さいこと。
2. 一方、学習者が、自分でプログラミングを楽しめる程度に十分に大きいこと。
3. 今後のプログラミング言語の学習に役立つように、汎用の高水準言語の香りをもっていること。

以上の条件を満たすように設計した、プログラミング言語 EL21 の仕様を図 2 に示す。式や演算子、識別子などについては省略している。

```

プログラム ::= プログラム名 複合文
プログラム名 ::= 識別子
文 ::= 複合文 | if 文 | while 文 | read 文 |
      print 文 | 代入文
代入文 ::= 変数名 = 式 ;
if 文 ::= if ( 式 ) 複合文
while 文 ::= while ( 式 ) 複合文
read 文 ::= read ( 変数名 );
print 文 ::= print ( 式 );
複合文 ::= { 文の並び }
文の並び ::= 文 | 文 文の並び
変数名 ::= 識別子
  
```

図2 教育用プログラミング言語 EL21 の仕様

我々が実施してきた言語 C を用いたプログラミング入門の科目では、while 文の構造に比べて、for 文の構造が複雑であることから、for 文の理解が困難であることが経験的に分かっている。このため、EL21 では、言語構造をできるだけ単純化するために、通常のプログラミング言語が持つ for 文を省略した。また、モジュール化や関数呼び出しも除外した。

2.3 エディタ

初学者は、ファイルの操作についても詳しくない。彼らのために、通常のメモ帳程度の機能を備えた簡単なエディタ EE21 を作成する必要がある。このエディタは、打ち込んだプログラムを保存することなく、コンパイラや計算機シミュレータに送信することができる機能を保持している必要がある。事前の実験で、20 文字×256 行のファイルを

†東京農工大学

編集可能で、1 度に 16 行を表示すれば、実用に耐えると判断した(図 3 参照)。

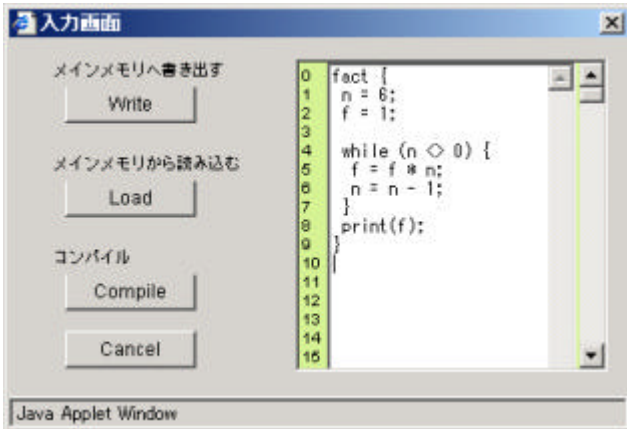


図 3 教育用エディタ EE21 の概観

また、EE21 は ED21 との間で直接アセンブリプログラムを読み書きできる機能も備える必要がある。この機能により、学習者がアセンブリプログラミングを楽しめると同時に、コンパイラが生成したアセンブリコードをハンドオブティマイズすることができる。

2.4 コンパイラ

本節では、教育用プログラミング言語 EL21 用のコンパイラ EC21 について説明する。EC21 は、EL21 によって記述されたプログラムを ED21 用の機械語に翻訳する。EC21 は、字句解析、構文解析、中間コード生成、目的コード生成の 4 つの相からなる。ED21 は、通常のコンパイラが持つ最適化相を含まない。これは、学習者が自身でハンドオブティマイズすることによる学習を促すためである。

図 4 に、教育用コンパイラ EC21 による EL21 プログラムの翻訳例を示す。

<pre>fact { n = 6; f = 1; while (n <> 0) { f = f * n; n = n - 1; } print(f); }</pre> <p>EL21 プログラム</p>	<pre>0:LOAD 254 1:STORE 255 2:LOAD 252 3:STORE 253 4:LOAD 255 5:SUB 251 6:JZ 18 7:LOAD 253 8:MUL 255 ... 253:DATA 0 254:DATA 6 255:DATA 0</pre> <p>ED21 機械語コード</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

図 4 EC21 による EL21 のコンパイル例

3 実現

教育用計算機システムシミュレータ ED21 の実現には、Java Applet を用いた。これにより、学習者は、何らかの WEB ブラウザを実装した計算機を使って、WEB 上でこの

シミュレータを利用することができる。また、EE21 は Java に実装されている TextArea クラスを使って簡単に製作した。Compile ボタンを押すことで、EE21 で書いた EL21 プログラムを EC21 に渡し、ED21 の機械語にコンパイルを行って、ED21 のメモリに格納することができる。EC21 は、字句解析の後、予測的構文解析系による再帰降下型構文解析を行い、中間コードとして実際に解析木を生成し、これに基づき ED21 の機械語を目的コードとして生成する。図 5 に、ED21 の実行の様子を示す。

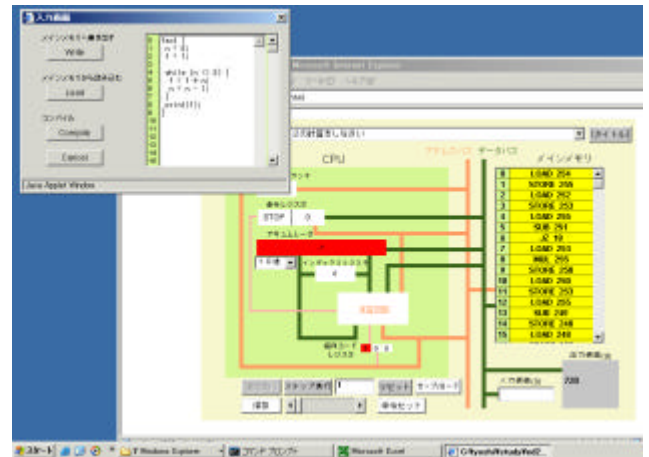


図 5 ED21 のスナップショット

4 結論

本研究において、我々は従来の教育用計算機シミュレータに、学習者がソフトウェアの動作原理を理解することができるように、コンパイラおよびエディタを付加した教育用計算機シミュレータ ED21 を開発した。

現在のプロトタイプでは、学習者がコンパイルの過程を理解することは難しい。したがって、コンパイルの 4 つの相を図示し、翻訳過程を説明するコンパイルブラウザを作ることが今後の課題の 1 つとなる。さらに、誤ったプログラムに対する処理やシステムの評価についても今後の課題である。

参考文献

- [1] Barua, S.: An interactive multimedia system on "computer architecture, organization, and design," *IEEE Trans. Education*, Vol. 44, No. 1, pp. 41–46, 2001.
- [2] Chung, G. K., et al.: The impact of a simulation-based learning design project on student learning, *IEEE Trans. Education*, Vol. 44, No. 4, pp. 390–398, 2001.
- [3] Imai, Y., et al.: Development of an education tool for computer system, In *Proc. Int'l Conf. Computer Education*, Vol. 2, pp. 1309–1310, 2002.
- [4] Johnson, M., et al.: Computer system pedagogy using digital logic simulation. In *Proc. Int'l Conf. Computer Education*, Vol. 1, pp. 703–704, 2002.
- [5] 矢野他: "教育目的に応じて観察の抽象度が変更可能な計算機シミュレータ ECAS の計算機構築演習での活用", 情報処理学会研究報告, Vol. CE-67-2, pp. 9–16, 2002.
- [6] 山口他: "高等学校「情報」教科向け Web/Java 教材「ED9900 の開発」", 情報処理学会第 60 回全国大会予稿集, Vol. 4, pp. 375–376, 2000.