5ZG-10

アセンブラプログラミング初学者のための ヒント提示システムの実現

諸岡 尚志† 立岩 佑一郎† 山本 大介† 高橋 直久†

†名古屋工業大学大学院 工学研究科 情報工学専攻

1. はじめに

我々はプログラミング演習支援システム CAPES[1]の開発，運用を行っている．CAPES は名古屋工業大学情報工学科のシステムプログラミングの講義で実際に利用されている．この講義の演習では，C 言語による要求をアセンブリ言語 CASLII[2]によるハードウェアの動作と関連付ける．

演習では，先述の制御構造を用いた構造化プログラミングを行う．問題文にプログラムの振る舞い，計算機リソース制御，および制御構造を文章と C 言語のプログラムで指定する．この演習問題に対する学習者から提出された答案プログラムの評価では，以下の 2 種類の誤りがないかを調べる．

- 答案プログラムが問題文に指定された通りの制御構造で実現されていない（制御構造誤り）
- 答案プログラムが問題文に指定された通りに計算機リソースを使用していない（計算機リソース誤り）

CAPES では答案に対して誤りがあった場合，判定に使用したテストデータを提示する．学習者はプログラム，問題文，およびテストデータにより，誤り原因の特定を試みる．プログラムから，制御構造の分析や，テストデータに対する計算機リソースの変化を頭の中でシミュレーションする．そして，それらが問題文の要求を満たしているかを検討し，満たさない原因をプログラム上で探す．

しかし，誤り原因を特定できずに途中であきらめてしまう学習者が存在する．これは，制御構造，計算機リソース制御，および振る舞いの理解（以降，プログラムの理解）が不十分であることと，アセンブラプログラムは命令数が多くなるため，先述の誤り原因の特定作業が複雑になることが原因であると考えられる．また，問題文要求の誤解や，チェックすべき箇所が増えることによる見落としにより，要求を満たしていない箇所に気づかないことも原因であると考えられる．

そこで，本研究は学習者によるプログラムの理解を通じた誤り原因の特定のためのヒントを提示する機能の開発を目的とする．この機能は，チャンク分解とプログラムスライスにより，プログラムから誤り原因を特定しやすいような表示を生成する．

2. 提案システムの実現法

誤りのパターンに応じたヒントを学習者に提示するシステムを図 1 のように構成した．以下にその実現法を述べる．

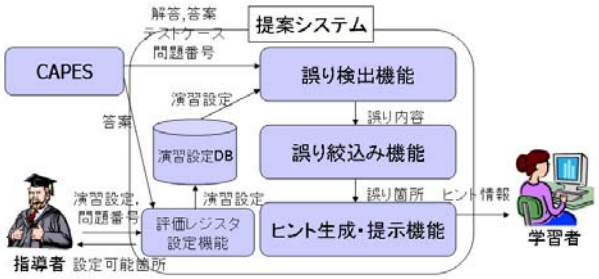

図 1:提案システム構成図

2.1. 制御構造誤りへのヒント

誤り原因の特定にはプログラムを読解することが重要であるが，アセンブラプログラムは読解しづらい．そこで，プログラムの制御構造をチャンクで表現することにより，プログラム中の制御構造および制御構造中の意味のある命令系列を学習者に明示する．

チャンクは，プログラムと複数のチャンク条件とのパターンマッチングにより実現される．チャンク条件とは，チャンクの特徴を表す命令，レジスタ，ラベル，数値を用いて，チャンクの性質を表した命令系列である．チャンク条件はシステム管理者があらかじめ設定しておき，この規則に従いプログラムからチャンクの抽出を行う．

受講者が誤り原因を特定しやすいように，学習者の答案のチャンク構造と，正解例の答案のチャンク構造の差を表示する．また，それらを併記することで誤り箇所をわかりやすくする．そして，誤り部分を強調表示する．

2.2. 計算機リソース誤りへのヒント

学習者は頭の中でシミュレーションすることでプログラムの振る舞いを理解することで，誤り原因を絞り込む．しかし初学者にとってそれは困難である．そこで，トレースデータ（命令の実行順序と計算機リソースの値）を表示する方法が考えられる．しかし，トレースデータは量が多く，プログラムとの対応がとり辛いため，振る舞いの理解が難しい．そこで，トレースデータをチャンクで表現することで，プログラムとの関連付けを助ける．

まず，答案プログラムと正解例プログラム，両方の実行されたプログラムに対して，チャンク適用（以降，実行プログラムに対してチャンク適用したものを動的チャンクと述べる）を行う．答案と正解例で動的チャンク構造の比較を行い，誤りを抽出する．このとき，誤り原因を特定しやすいようにプログラムの実行順と動的チャンク構造を記述し，学習者の答案と正解例の動的チャンク構造の構造差を明示する．そして，プログラムと実行したプログラムの対応関係がわかりやすいように，学習者の答案もあわせて表示する．

Implementation of Advising System for assembly programming beginner

Takashi Morooka†, Yuichiro Tateiwa†,Daisuke Yamamoto†, Naohisa Takahashi†

†Dept. of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology.

振舞いの理解において，計算機リソースの値の異常を感知したとき，学習者はその計算機リソースの値に影響を及ぼす命令を絞り込む．しかし躓く学習者はそれを正しく行えない．そこで，誤り原因の絞込みをシステムは自動的に行い，ヒント情報として提示する．

誤り絞込みの手法を以下に記述する．まず，動的チャンク単位での答案，正解例それぞれの入出力値の計算を行う．この動的チャンクを基本単位として，プログラム中の任意のレジスタに影響を与える命令系列(本論文では動的逆方向スライスと呼ぶ)の計算を行う．計算機リソース誤りが発生した動的チャンクを実行時点として，その誤りレジスタに関する動的逆方向スライスを計算する．その際，指導者が注目したいレジスタとして登録されており，値が答案プログラムと正解例プログラムで一致したレジスタである場合，それ以前には誤りの可能性が無いと言えるため，その部分で動的逆方向スライスの計算を打ち切る．こうして計算した動的逆方向スライスを，誤りを含む可能性が高い箇所であるとして学習者に提示する．

3. プロトタイプシステム

3.1. 制御構造誤りへのヒント表示

図 2 に制御構造誤りが発生した場合の表示についての一例を示す．提案システムは誤り原因と答案プログラムブロック A，正解例プログラムブロック B を出力する．答案プログラムブロック A では答案のプログラムとそれをチャンク分解したものを表示する．正解例プログラムブロック B では，正解例のプログラムをチャンク分解したものを表示する．これにより答案と正解例のチャンク構造差を提示する．図 2 の②ではチャンク分解の結果が異なった誤り原因の部分を強調表示し，誤り箇所をわかりやすくしている．

3.2. 計算機リソース誤りへのヒント表示

計算機リソース誤りの表示方法は 2 種類ある．まず，振る舞いが誤っていた場合の表示方法を述べる．図 3 は誤りが発生した場合の一例である．提案システムは誤り原因と答案プログラムブロック A，答案トレースデータブロック B，正解例トレースデータブロック C を出力する．答案プログラムブロック A では答案のプログラムとそれをチャンク分解したものを表示する．答案トレースデータブロック B ではトレースデータと答案の動的チャンク，その動的チャンク内でのレジスタ値を表示する．正解例トレースデータブロック C では正解例の動的チャンクを表示する．図 3 の②は，答案トレースデータ，正解例トレースデータの比較の結果，振る舞いが異なった誤り原因であり，強調表示を行っている．②ではさらに，答案トレースデータでの誤り箇所を答案プログラムブロックでどこにあるかを強調表示している．

次にリソースの使い方が誤っていた場合の表示方法を述べる．図 4 は誤りが発生した場合の一例である．提案システムは誤り原因と答案プログラムブロック A，答案トレースデータブロック B を出力する．答案プログラムブロック A では答案のプログラムとそれをチャンク分解したものを表示し，誤り可能性が高い箇所のレジスタ値を表示する．答案トレースデータブロック B ではトレースデータと答案の動的チャンク，誤り可能性が高い箇所のレジスタ値を表示する．図 3 の②は，答案トレースデータ，正解例トレースデータのレジスタ GR3 の比較の結果，値が異なった誤り原因であり，強調表示を行っている．このとき，動的逆方向スライスを利用して誤り箇所の絞込みを行い，誤りの可能性が高い命令を抽出し，それを③で強調表示を行っている．

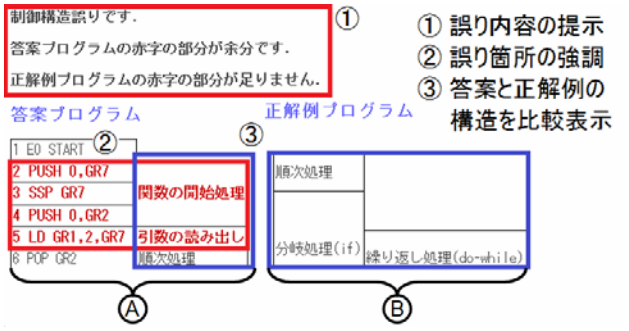

図 2:制御構造誤りに対するヒント表示図

図 3:計算機リソース誤りに対するヒント表示図 1

図 4:計算機リソース誤りに対するヒント表示図 2

4. おわりに

今後の課題は，評価実験およびヒント提示後に次の誤りを解決するための推奨行動を提示する機能の開発である．

参考文献

[1] 宮地，高橋，“ 構造誤り検出機能を有するアセンブラプログラミング演習支援システムの実現と評価”，電子情報通信学会論文誌，Vol.J91-D，No.02，pp.280-292，Feb.2008.
[2] IPA 独立行政法人情報処理推進機構 IT 人材育成本部情報処理技術者センター，”「試験で使用する情報技術に関する用語・プログラム言語など」Ver2.1(2011 年 10 月版）”，http://www.jitec.ipa.go.jp/1_13download/shiken_yougo_ver2_1.pdf，pp.3-8，2011.