

操作ログの類似検索機能を有した CLI操作協調学習支援システムの試作

河西 真広^{1,a)} 永井孝幸^{2,b)}

概要: 近年、動画コンテンツの教育利用に注目が集まっており、今後様々な場面において動画コンテンツが利用されるようになると思われる。その動画コンテンツの使用例として、CLI操作での活用に注目した。本研究では、CLI操作時の画面動画と操作ログを記録し、エラーメッセージの検索により学習者間で相互に関心がある場面の動画を閲覧できるCLI操作協調学習支援システムを試作した。同じ演習内容であってもコマンド入出力の内容は学習者の実行環境によって差異が生じるため、システムの実現のためには類似検索機能の実現が必要であった。そのため本システムでは、形態素解析を用いてエラーメッセージの類似検索機能を実現した。

キーワード: CLI, 操作ログ, 類似検索, 形態素解析

Implementation of similarity search for CLI operation logs and its application to cooperative learning

MASAHIRO KAWANISHI^{1,a)} TAKAYUKI NAGAI^{2,b)}

Abstract: In recent years, educational use of video contents is being focused and expected to spread in various scenes. As an application to engineering education, we consider applying video contents to command-line interface (CLI) operation exercises. To automatically generate screen capture videos indexed with error messages, we developed a prototype of collaborative learning system that record screen capture video as well as operation logs during CLI operation. Recorded videos are stored in a central server to be indexed with error keywords; students can mutually search videos of interest by error messages. Since operation logs and error messages are not always the same among students even when they practice the same exercise, we developed a similarity search function to absorb the differences caused by runtime environment of each student.

Keywords: CLI, operating logs, similarity search, morphological analysis

1. 研究背景

近年、教育現場において動画コンテンツの利用に注目が集まっている。日本の小中高、大学・大学院、専門学校、予備校・学習塾の教職員・経営者を対象に、eラーニング戦略研究所が2014年に行った『ビデオ教材（映像コンテンツ）の教育利用に関するアンケート調査』の定点調査[1]

では、回答者の半数が「動画コンテンツを教育利用したことがある」と回答した。内訳としては「講義・授業内容の活用」が最多で76.3%である。また、「教育現場で動画コンテンツを活用したことがある」と回答した人は5割、「動画コンテンツを今後活用したい」と回答した人は約8割に達し、教育関係者の多くが動画コンテンツの教育利用に前向きであることが明らかになっている。さらにこの調査では、82.2%が動画コンテンツを「わかりやすく学習効率が低い」と評価している。この調査結果から、教育現場における動画コンテンツの利用は、教育関係者の多くが前向き

¹ 京都工芸繊維大学, 大学院工芸科学研究科情報工学専攻

² 京都工芸繊維大学, 情報工学・人間科学系, 准教授

a) m-kwns18@dsms.cis.kit.ac.jp

b) nagai@kit.ac.jp

にとらえていることから、今後さらに普及していくことが予想される。

動画コンテンツは文字で伝えにくい情報を伝えるのに向いていることから、著者らはコマンドライン操作 (CLI 操作) を伴う演習に動画コンテンツを用いることができないか検討を行った。IT 技術者の教育において CLI 操作は仕組みを理解するために不可欠であるが、目的を達成するためには操作手順やコマンドの使用方法など多くの情報を必要とする。インターネットの検索エンジンを用いることで関連情報を見つけることは容易になったが、多くの場合入手できるのはテキスト情報であり、自分の学習環境に当てはめて理解するのに時間を要してしまう。YouTube 等のビデオ共有サイトで解説ビデオが見つかることもあるが、学習素材として用いるためのインデックス情報が付与されておらず、学習活動に関連する部分を見つける負担が大きい。

通常、演習で行き詰まった時に参考になるのは同じ演習に取り組んでいる他の学生である。もし、他者の CLI 操作を記録した動画から自分の操作に類似した場面を検索・閲覧することができれば、オンラインマニュアルやインターネット上で見つかる情報よりも効果的に内容を理解できると期待される。

以上の考えに基づき、本研究では演習中の CLI 操作をコマンド入出力履歴とデスクトップ動画として収録し、コマンドが出力するエラーメッセージをキーとして該当場面を検索することができる協調学習支援システムの試作を行った。同じ演習内容であってもコマンド入出力の内容は学習者の実行環境によって差異が生じるため、このシステムの実現は類似検索機能の実装が鍵となる。

2. 関連事例

操作ログ収録ツールという観点では、本研究で開発したシステムは既存のツールに類似している。本節では既存事例の紹介と本システムとの相違点について述べる。

2.1 操作ログを利用した情報漏えい対策

内部犯行による企業や自治体などの組織内情報の漏えいが社会問題となっている。日本版 SOX 法 (J-SOX) では、上場企業に対して財務情報の不正や誤りを防ぐための監視システム導入を義務付けており、IT 統制の 1 つとして、業務プロセスを監視するためには業務システムのログ管理も求められている [2]。総務省も外部からの不正アクセスやウイルス感染による組織内部からの情報漏えい等の対策としてログの取得と保管が重要だと述べており、ログの取得のためのログ管理システムやログ解析プログラムなどの運用を推奨している [3]。ログの収集という観点では情報漏えい対策に用いられるツールと学習支援を目的としたツールでは差異は見られないが、ログの分析においては以下のような明確な違いがある。

管理者権限による操作

情報漏えい対策で用いるツールでは、管理者権限で行われた操作は不正なものである可能性があるため重点的に分析する必要がある。しかし協調学習支援システムが使用される学習場面においては、ユーザ自身が管理者である場合が多いため、管理者権限で行われた操作を重点的に分析する必要はない。

対象となるパターンの数の違い

情報漏えい対策では、機密指定したファイルへのアクセスや電子メールの送受信など、ある程度監視すべき操作対象を絞ることができるが、学習場面においては決まったパターンというものは存在しない。

以上のように情報漏えい対策を目的としたツールと学習支援を目的としたツールで着目点が大きく異なる。

2.2 操作履歴の取得に関する研究

操作履歴の取得に関しては先行事例が多数存在する。細田らの研究 [4] では、アクティブウィンドウ情報やマウス・キーボード操作を利用して PC 作業の区切れを推定している。その他にも視線計測器を利用した研究 [5] や Web ブラウザの拡張機能を利用した研究 [6] などがある。

本システムは端末の script コマンドを主に利用しており、端末の操作ログに限られるものの、PC 以外の外部装置を必要とせずに正確な時刻情報が付与された操作履歴を取得することができる。

2.3 Asciiinema

Asciiinema[7] は、Marcin Kulik によって開発されたサービスで、Asciiinema 独自の再生可能形式で記録した端末の操作を、インターネット上で共有することができる。ツール本体はオープンソースとして公開されており、現在も開発が進められている。記録する対象が端末の操作ログであり、共有機能を備えていることから本研究の想定に近いサービスである。その一方で、操作履歴の検索機能は未実装であり、操作ログの類似検索機能も備えていない。

3. CLI 演習デスクトップ動画による学習支援

本節では、CLI 演習を記録した動画によって学習支援を行うために要求される事項と、それに対する解決策を述べる。

3.1 動画検索に関する要求と解決策

動画という形式はそのままでは扱いづらく、目的の場面を探すために早送りや早戻しなどの操作を何度も行わなければならない可能性がある。そのため、膨大な動画コンテンツの中から類似したエラーメッセージを記録した場面を効率的に検索するためには、動画に対しインデックスの付与を行い、キーワードによって検索できるようにする必要

がある。

この解決策として、端末操作時の画面を録画することに加え、Linux に標準で搭載されている script コマンドを用いて端末の操作ログ*1 を取得する。しかし、script コマンドによって生成されたログ（以降、script ログ）には制御文字が含まれており、コマンドの入力にバックスペースを使用した場合など、実際に実行したコマンドの抽出が困難な場合がある。そのため、bash のコマンド履歴が保存されているファイルを併用する。端末の出力履歴が記録されていない代わりに、制御文字が含まれていないため、script ログから実際に実行されたコマンドが得られない場合でも、bash のコマンド履歴を用いることで実際に実行されたコマンドを求めることができる。

操作ログにタイムスタンプを付与し、操作動画のタイムスタンプと照合することで、操作ログと動画を自動的に対応付ける。エラーメッセージをキーとして操作ログを検索することで関連場面のタイムスタンプが得られ、動画の頭出しが可能になる。このようにして、キーワードによる検索が可能な動画コンテンツの提供を実現する。

3.2 協調学習に関する要求と解決策

CLI 操作の協調学習を実現するために、各ユーザが自身の操作履歴に含まれるエラーメッセージだけでなく、同じ演習に取り組んでいる他者の操作履歴に含まれるエラーメッセージも利用できるようにする必要がある。

そこで、同じ演習に取り組んでいる全てのユーザの端末操作履歴を、操作履歴保存サーバ上の操作履歴データベースに格納する。端末操作時の動画も同様に全てのユーザが閲覧できるようにするために、操作履歴保存サーバ上の操作動画保存用共有フォルダに保存する。また、エラーメッセージに含まれる代表的なキーワードをエラーキーワードとしてあらかじめ定義し、そのエラーキーワードを操作履歴データベースに保存する。このエラーキーワードは全てのユーザが任意に追加登録することができるものとする。また、エラーキーワードには正規表現を使用できるようにし、可変部を含むエラーメッセージに対応できるようにする。

ユーザがデータベースに操作履歴の登録を行う際には、その操作履歴と操作履歴データベースに保存されているエラーキーワードを照合し、エラーキーワードが含まれている出力履歴をエラーメッセージとしてデータベースに登録する。

このようにあらかじめエラーメッセージを検出しデータベース化することで、他者のエラーメッセージを利用した CLI 操作の協調学習を実現する。

3.3 類似エラーの検索に関する要求と解決策

エラーメッセージの種類は膨大であり、同じエラーに関するエラーメッセージであっても、実行環境やエラー発生時の状況によってエラーメッセージに一部変化が生じる場合がある。例えば以下のエラーメッセージの場合、下線部が変化が生じる部分である。

- error: syntax error before “printf”
- bash: /home/userA/test.c: Permission denied
- Error response from daemon:
Container 79b3fa70b51b is not running

このような場合においても、同じエラーに関するエラーメッセージであれば、類似エラーとして検索できる必要がある。

この解決策として、あらかじめマシンの環境やエラー発生時の状況によって変化すると考えられる部分を固定の文字列に置換することで正規化し、実行環境やエラー発生時の状況による変化の影響を取り除く。具体的には「引用符で囲まれた部分」「ファイルパス・ディレクトリパス」の2つが該当する。

また、全てのエラーメッセージに対して形態素解析を行い、品詞構造を比較することで類似エラーの検索を行う。実行環境やエラー発生時の状況によって変化することが多い名詞や数詞を判別し、エラーメッセージ同士の比較部分から除外することで、マシンの環境やエラー発生時の状況によって変化するエラーメッセージに対応する。

4. 検索対象の分類

検索対象とするエラーメッセージの分類を、変化の有無および「引用符」「ディレクトリパス」の使用の有無を基準として以下のように分類する。

(a) 固定メッセージ

マシンの環境やエラー発生時の状況によって変化することがないエラーメッセージ。

例：cat: hoge.txt: No such file or directory

(b) 引用を含むエラーメッセージ

引用符を用いた引用文を含むエラーメッセージ。引用符はシングルクォーテーション、ダブルクォーテーション、グレイヴ・アクセントの3種類を想定する。

例：test.c:6: error: syntax error before “printf”

(c) ディレクトリ情報を含むエラーメッセージ

ファイルの絶対パスや相対パスなどのディレクトリ情報を含むエラーメッセージ。

例：bash: /usr/sbin/usermod: Permission denied

(d) 引用とディレクトリ情報を含むエラーメッセージ

引用符を用いた引用文とディレクトリ情報の両方を含むエラーメッセージ。

例：/home/username/test.c:9:5: error: expected ‘;’ before ‘fclose’

*1 本研究における操作ログとは、端末の入出力履歴のことである。

(e) その他のエラーメッセージ

実行環境やエラー発生時の状況によって変化するエラーメッセージのうち、(b)(c)(d)に該当しないもの。

例: Error response from daemon: Container 79b3fa70b51d is not running

エラーメッセージの類似検索処理ではメッセージ同士を直接比較するのではなく、正規化処理を行った状態で比較を行う。6節で述べるように、類似検索の精度を高めるために上記の分類ごとに異なった正規化処理を用いる。

5. 形態素解析を用いた類似エラー検索

5.1 使用する形態素解析ツール

エラーメッセージの形態素解析ツールとして「TreeTagger」[8]と、TreeTaggerのPythonラッパーである「TreeTaggerWrapper」[9]を使用する。TreeTaggerは多言語に対応した形態素解析ツールであり、解析対象のテキストに出現する各単語に対し、品詞の判定、および単語の原形の判定を行うことが可能である。このツールを用いることで、英語のテキストであれば出現する全ての単語および記号が58種類の品詞に分類される。TreeTaggerWrapperでURLであると判定された単語は、独自の品詞コード「URL」を用いて分類する。

5.2 前処理について

4節の(e)で示したエラーメッセージに対応するため、エラーメッセージ検出時に検出された全てのエラーメッセージに対して形態素解析を行う。本節では、形態素解析を実行するにあたって行った前処理について述べる。

まず、正規化のために以下の置換処理を行う。

- 引用部分を固定文字列“QUOTE”に置換
- ディレクトリパス・ファイルパスを固定文字列“PATH”に置換

次に、エラーメッセージをコロンとセミコロンを区切り文字として要素に区切り、1単語のみで構成された要素を削除する。これは、1単語のみで構成された要素はエラーの内容を含まず、類似エラー検索においては重要性が低いと判断したためである。コロンとセミコロンを区切り文字として使用する理由は、多くのエラーメッセージにおいて、これらの記号が要素の区切り文字として使用されているためである。以下に例を示す。

cat: hoge.txt: No such file or directory

このエラーメッセージの場合、「cat」「hoge.txt」「No such file or directory」の3つの要素に分割することができる。

その後、要素ごとに分割されたエラーメッセージに対して個別に形態素解析を行い、形態素解析結果である品詞情報と対応する単語列を、操作履歴データベースに登録する。

5.3 想定される問題点とその対策

形態素解析は自然言語を対象とした解析手法である。しかし、端末の操作ログに含まれるエラーメッセージには自然言語にはない単語などが含まれる。そのため、正しく形態素解析を行えるという保証はない。

実際に、コマンド実行結果に含まれるランダムな文字列がTreeTaggerで以下のように分類された。

- 0267f5b2e58a06728eb3c0 … 名詞の単数形
- 36678b3668a7563d8e50bd … 形容詞

このように、ランダムな文字列が、1つ目は「名詞の単数形」、2つ目は「形容詞」と判定されている。アルファベットと数字からなるランダムな文字列を同じ品詞として扱えるようにするため、「形容詞」および「名詞」と互換性を持つ独自の品詞コード「AandN」を設定し、「形容詞として判定された数字を含む単語」の形態素解析結果として用いる。

よって、要素ごとに分割されたエラーメッセージに対して個別に形態素解析を行う際、「形容詞 (JJ)」として判定された単語のうち、数字を含む単語を品詞コード「AandN」で分類する。

6. エラーメッセージ検索処理

試作システムでは、5節で述べた類似エラー検索を含む以下の6つの検索条件に対応する。

- 条件 1. エラーメッセージの完全一致
- 条件 2. ディレクトリパスを除いて一致
- 条件 3. 引用部分を除いて一致
- 条件 4. ディレクトリパスと引用部分を除いて一致
- 条件 5. エラーキーワードの一致
- 条件 6. エラーメッセージの品詞構造の一致

以下では、それぞれの検索条件における具体的な処理方法について述べる。

まず、ユーザが指定するエラーメッセージを m_1 とする。次に、全てのエラーメッセージのうち、エラー発生時に使用されたコマンドが m_1 と同じエラーメッセージを検索し、それらを M_2 とする。 M_2 から1つエラーメッセージを選択し、それを m_2 とする。 m_1 と m_2 に関して以下の類似エラー検索処理を行い、 M_2 の全てのエラーメッセージに対して同じ処理を繰り返す。なお、条件1から条件4については説明を省略する。

条件 5. エラーキーワードの一致

m_1 と m_2 に含まれるエラーキーワードが一致した場合、 m_2 を検索結果とする。

条件 6. エラーメッセージの品詞構造の一致

最初に、 m_1 と m_2 の品詞構造のうち、「名詞の単数形」「名詞の複数形」「固有名詞の単数形」「固有名詞の複数形」を「名詞の単数形」に置換して、名詞の統一を行う。その後、置換後の品詞構造に対し、以下の条件で

品詞構造の先頭から順に比較を行う。

- 品詞が同じであれば次の品詞へ
- 品詞が「名詞」と「AandN」の組み合わせであれば次の品詞へ
- 品詞が「形容詞」と「AandN」の組み合わせであれば次の品詞へ
- その他であれば、異なる品詞構造であると判断し、次のエラーメッセージの検索へ

その後、同じ品詞構造を持つエラーメッセージに対し、正規化した状態でエラーメッセージの比較を行う。ここでは、正規化として以下の品詞に該当する単語を削除する：

1. 名詞
 2. 数字
 3. 形容詞
 4. URL
 5. AandN
- 正規化後の単語列を比較し、一致したエラーメッセージ m_2 を検索結果とする。

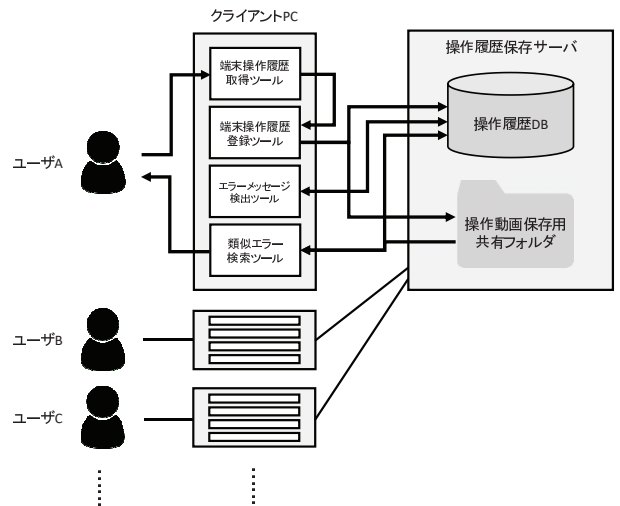


図 1 試作システムの全体構成

Fig. 1 Overall structure of prototype system.

7. CLI 操作協調学習支援システムの試作

類似エラー検索機能を有した CLI 操作協調学習支援システムの試作結果について述べる。

7.1 システムの概要

本試作システムは、同じ演習に取り組む複数のユーザの端末操作時の動画・操作ログ・コマンド履歴をデータベース化し、各ユーザが演習中に行き詰った際に、出力されたエラーメッセージをキーとして他者の演習履歴から類似する演習場面を検索し、その場면을動画で閲覧できるものである。

7.2 システムの全体構成

本試作システムの全体構成を図 1 に示す。図中の矢印はデータのやり取りを示す。なお、ユーザ A 以外の図は簡略化した。複数のユーザで使用することを想定する。それぞれのクライアントに CLI 協調学習支援システムで使用するツールを導入し、全てのクライアントが 1 つの操作履歴保存サーバにアクセスしてデータベースの操作や操作動画の保存を行う。また、端末操作履歴取得・登録ツールを使用するたびに操作動画が生成されるため、操作動画保存用共有フォルダには複数の操作動画が保存される。

本試作システムは以下の 4 つのツールから構成される。

- 端末操作履歴取得ツール
- 端末操作履歴登録ツール
- エラーメッセージ検出ツール
- 類似エラー検索ツール

それぞれの処理内容の詳細は以下のとおりである。

端末操作履歴取得ツール

端末操作履歴取得部では、ユーザの端末操作時の動画と、端末の操作ログ、およびコマンド履歴を同時に記録する。このとき、動画はデスクトップ録画用ソフト

ウェアの 1 つである recordMyDesktop[10] を使用して録画する。また、端末の操作ログは script コマンドを用いて生成し、コマンド履歴は bash のコマンド履歴ファイルから入手する。script で生成される操作ログとコマンド履歴にタイムスタンプを付与することで、動画との連動を行う。

端末操作履歴登録ツール

端末操作履歴登録部では、端末操作履歴取得部で録画した端末操作時の動画を、操作履歴保存サーバにある操作動画保存用共有フォルダに保存する。また、端末操作履歴取得部で生成した端末の操作ログとコマンド履歴を使用して、操作履歴保存サーバにある操作履歴データベースに、操作履歴の登録を行う。操作履歴の登録の際、操作ログの各行において、コマンドプロンプトの記号「#」「\$」が存在すれば入力履歴、存在しなければ出力履歴として登録を行う。

表 1 に操作履歴を保存するための操作履歴テーブルの構造を示す。操作履歴テーブルは操作履歴データベース上に 1 ユーザごとに 1 テーブル用意する。このテーブル構成は同じテーブルで入力履歴と出力履歴の両方を保持する共用体となっている。表 1 において○となっている項目は、各履歴を保存する際に使用するフィールドを表す。

エラーメッセージ検出ツール

エラーメッセージ検出部では、操作履歴データベースに登録された端末操作履歴の中からエラーメッセージを検出し、検出したエラーメッセージについて形態素解析を行い、結果を操作履歴データベースに追加する。エラーメッセージの検出には、あらかじめデータベースに登録されたエラーキーワードを用いる。また、エラーメッセージに対して形態素解析を行う際には、5

表 1 操作履歴テーブルの構造

Table 1 Structure of operation history table.

フィールド名	型	内容	登録対象		
			入力履歴	出力履歴	
			エラーなし	エラーあり	
ID	int(11)	主キー	○	○	○
DATETIME	datetime	入出力が行われた時刻 (例: 2018-01-12 15:40:09)	○	○	○
UNIXTIME	int(11)	入出力が行われたUNIX時間 (例: 1515739209)	○	○	○
PREV_UNIXTIME	int(11)	1つ前のレコードにおけるUNIX時間	○	○	○
SPENT	int(11)	そのレコードにおける入出力に要した時間	○	○	○
ELAPSED	int(11)	操作履歴記録開始時刻からの経過時間	○	○	○
DIRECTORY	varchar(255)	作業ディレクトリ	○	—	—
USER_NAME	varchar(255)	ユーザ名	○	—	—
INPUT_ID	int(11)	対応する入力履歴のID	○	○	○
INPUT	varchar(255)	入出力履歴に記録された入力履歴	○	—	—
HISTORY	mediumtext	コマンド履歴 (全体)	○	—	—
COMMAND	varchar(255)	コマンド履歴 (1語)	○	○	○
OUTPUT	mediumtext	入出力履歴に記録された出力履歴	—	○	○
ERROR	varchar(1)	対応する出力履歴におけるエラーの有無	○	—	—
ERROR_ID	varchar(255)	検出されたエラーキーワードのID	—	—	○
ERROR_MSG	mediumtext	検出されたエラーキーワード	—	—	○
PARTS_OF_SPEECH	mediumtext	出力履歴の形態素解析結果	—	—	○
WORDS	mediumtext	出力履歴の形態素解析結果に対応する単語列	—	—	○
RMD	varchar(255)	操作動画のファイルパス	○	○	○

表 2 エラーキーワードテーブルの構造

Table 2 Structure of error keywords table.

フィールド	型	内容
ERROR_ID	int(11)	エラーキーワードID
REGULAR_EXPRESSION	varchar(1)	エラーキーワードにおける正規表現の使用有無
ERROR_MSG	varchar(255)	エラーキーワード

節で述べた方法を使用する。

ここで、エラーキーワードを保存するためのエラーキーワードテーブルの構造を表 2 に示す。

類似エラー検索ツール

類似エラー検索部では、6 節で述べた方法を用いて類似エラーの検索を行い、検索結果一覧を表示する。その後、ユーザによって選択されたエラーメッセージが記録されている動画を再生する。

7.3 システムの動作

ユーザは操作履歴取得ツールを用いて、端末操作時の動画・操作ログ・コマンド履歴を同時に記録する。このときのツール操作画面を図 2 に示す。記録終了後、操作履歴登録ツールが自動的に実行され、動画は操作動画保存用共有フォルダ、操作ログとコマンド履歴は操作履歴データベースにそれぞれ登録される。登録終了後、エラーメッセージ検出ツールが自動的に実行され、エラーメッセージの検出とそれに対する形態素解析が行われ、その結果がデータベースに追加登録される。

端末操作動画を検索するためには、まず自身の操作履歴に含まれるエラーメッセージを 1 つ選択し、そのエラーメッセージと類似するエラーメッセージを類似エラー検索ツールを使用して検索する。エラーメッセージ選択画面を図 3、検索条件選択画面を図 4、検索結果の表示画面を図 5 にそれぞれ示す。

次に、検索結果一覧から動画で閲覧したいエラーメッ

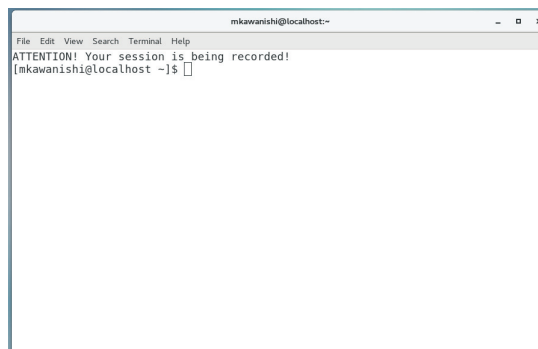


図 2 操作履歴記録時の画面

Fig. 2 Screenshot of terminal being recorded.

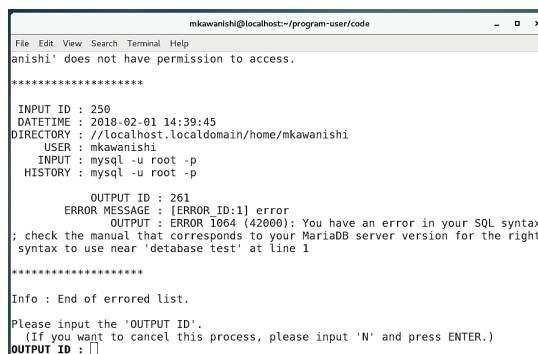


図 3 エラーメッセージ選択画面

Fig. 3 Select which error message as key for search.

```
Please input Number of search-condition
[1] same output message
[2] same output message excluding directory info
[3] same output message excluding quote part
[4] same output message excluding directory info and quote part
[5] same ERROR-ID
[6] same sentence structure of output message
[7] show results by all search conditions in order
Number : [1]
```

図 4 検索条件選択画面

Fig. 4 User specify search condition before search.

```
*****
Info : Search result (same sentence structure of output message)
No.1
TABLE NAME : Table_testuser02
INPUT ID : 318
USER : mk230
INPUT DATETIME : 2018-01-26 16:57:15
INPUT : docker rum rm sample
HISTORY : docker rm sample
OUTPUT ID : 319
OUTPUT DATETIME : 2018-01-26 16:57:16
OUTPUT : Error response from daemon: You cannot remove a running container 366f89b9eb15491fa1ade6ce42dddc077b3e7dfb8978b3668a7563d8e50bd. Stop the container before attempting removal or force remove
ERROR ID : 1
*****
```

図 5 検索結果の表示画面

Fig. 5 Search result by error No.1-F in Table 4.

ッセージを 1 つ選択する。その後、選択したエラーメッセージ発生前後の秒数を指定することで、そのエラーメッセージが記録された端末操作動画を再生できる。動画閲覧を行うエラーメッセージの選択画面を図 6 に示す。

8. 動作検証

実装したシステムのエラーメッセージ検出性能、および類似エラー検索性能の検証を行った。

表 6 検出されたエラーメッセージの件数

Table 6 Number of detected error messages.

	実際の件数	エラーメッセージ検出ツールで検出された件数
クライアント1	10	10 (うち正常検出 8)
クライアント2	10	10 (うち正常検出 8)

表 7 検出された類似エラーの件数

Table 7 Number of detected similar error messages.

実際の件数	類似エラー検索ツールで検出された件数
56	54 (うち正常検出 52)

の組み合わせ件数と、類似エラー検索ツールによって検出できた組み合わせ件数を表 7 に示す。

この結果から、エラーメッセージの検出率は 100% (適合率 80%)、類似エラー検索率は 96% (適合率 93%) である。

8.3 検証結果の考察

動作検証の結果、エラーメッセージの検出性能については、検証時に行った操作によって生じたエラーメッセージは全て検出することができた。しかし、端末操作 2. の Docker のコンテナ操作のうち、コンテナ内で操作中に出力されたエラーメッセージ (表 4 の 1-D, および表 5 の 2-D) について、試作システムでコマンド履歴を取得できておらず、その影響で実行されたコマンドを検出することができなかった。これは、Docker のコンテナ内で実行されたコマンドの履歴保存先が、そのコンテナの中にあるファイルであり、ローカルの bash 履歴に保存されないためである。このことから、実行されたコマンドの取得をコマンド履歴のみに依存した現在の設計は不十分である。

また、端末操作 4. のデータベースの操作において、エラーメッセージに対応するコマンド履歴が実際と異なる場合があった (表 4 の 1-J, および表 5 の 2-J)。これは、データベースの内部操作において用いられるコマンドプロンプトの記号「>」が、入力履歴の判別に用いた記号「#」「\$」と異なるためである。そのため本来入力履歴である操作ログが出力履歴であると判定されてしまい、エラーメッセージに対応するコマンド履歴が、直前に入力履歴と判定された操作ログでデータベースに登録されてしまっていた。このことから、入出力履歴における入力履歴の判別においても改善の余地があることが分かる。

類似エラーの検索性能については、正しくエラーメッセージの検出時に正確に検出できていなかったエラーメッセージを除く全てのエラーメッセージにおいて、6 節で述べた 6 つの条件がそれぞれ正しく動作していることが確認できた。類似エラーの検索が正しく動作していないものはエラーメッセージの検出時における不具合が原因であり、その不具合が無ければ正しく検索できると考えられる。

9. 今後の課題

本研究では、CLI 操作履歴を伴う学習に対しエラーメッ

セージによる検索が可能な動画コンテンツを提供とすることを目的に、エラーメッセージの類似検索機能を有した CLI 操作協調学習支援システムの試作を行った。試作システムでは、検出されたエラーメッセージと類似するエラーメッセージの検索を行うことが可能であることが確認されたが、操作履歴の取得が完全ではなく、エラーメッセージを正常に検出できないことも確認された。

今後の課題として、操作履歴の取得手法の再検討を行う必要がある。また、試作したシステムではデータベースの共有方法にセキュリティ上の問題があるため、システムの Web サービス化を行う必要がある。

参考文献

- [1] 株式会社デジタル・ナレッジ: ビデオ教材 (映像コンテンツ) の教育利用に関する定点調査報告書 < 2014 年 >, デジタル・ナレッジ (オンライン), 入手先 (<http://www.digital-knowledge.co.jp/archives/1702/>) (参照 2018-1-18).
- [2] 経済産業省: システム管理基準追補版 (財務報告に係る IT 統制ガイドライン), 経済産業省 (オンライン), 入手先 (<http://www.meti.go.jp/policy/netsecurity/docs/regulations/ITGovernanceGuideline.pdf>) (参照 2018-5-10).
- [3] 総務省: 国民のための情報セキュリティサイト - ログの適切な取得と保管, 総務省 (オンライン), 入手先 (http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/security/business/admin/22.html) (参照 2018-5-19).
- [4] 細田真道, 姜 力, 西村 剛, 池田 敬: パソコン作業の画面キャプチャ記録に対するインデキシング, 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol. 7, No. 3, pp. 399-402 (2008).
- [5] 高久雅生, 江草由佳, 齋藤ひとみ, 三輪真木子, 神門典子: タスク種別とユーザ特性の違いが Web 情報探索行動に与える影響: 眼球運動データおよび閲覧行動ログを用いた分析, 情報知識学会誌, Vol. 20, No. 3, pp. 249-276 (2010).
- [6] 南翔太郎, 岡 誠: 閲覧行動モニタリングに基づく検索系の抽出と検索結果の分類, 情報処理学会, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2011, No. 8, pp. 1-6 (2011).
- [7] Kulik, M.: asciinema - Record and share your terminal sessions, the right way., asciinema.org (online), available from (<https://asciinema.org>) (accessed 2018-5-10).
- [8] CIS project: TreeTagger - a part-of-speech tagger for many languages, CIS (online), available from (<http://www.cis.uni-muenchen.de/~schmid/tools/TreeTagger/>) (accessed 2018-2-8).
- [9] Pointal, L.: TreeTagger Python Wrapper's documentation!, CURS - LIMSI (online), available from (<http://treetaggerwrapper.readthedocs.io/en/latest/>) (accessed 2018-5-18).
- [10] SourceForge.net: About recordMyDesktop, SourceForge.net (online), available from (<http://recordmydesktop.sourceforge.net/about.php>) (accessed 2018-5-18).