

# 頭部装着型ディスプレイを用いた ソフトウェア構造の理解を支援するシステム

青木 達志† 辻 愛里†† 藤波 香織††  
 † 東京農工大学 大学院 生物システム応用科学府 生物機能システム科学専攻  
 †† 東京農工大学 大学院 工学研究院 先端情報科学部門

## 1 はじめに

ソフトウェア開発者にとって大量のコードにおける複雑な構造及び依存関係を理解することは非常に困難である。この問題を解決する手段としてソフトウェアの構造を視覚的に表現する方法がある。例として、統一モデリング言語 (UML) ではグラフィカル表記を使用してソフトウェアを視覚的に記述することができる。しかし、この表記では 2D で構造が表されているため、表現できる情報が制限される。3D でソフトウェアの構造を可視化する方法では 2D より多くの情報を提供し、人間の自然な動きを利用した操作を可能にする。そのため、仮想現実 (Virtual Reality: VR) や複合現実 (Mixed Reality: MR) を利用してソフトウェア構造を 3D で可視化し、操作する研究が行われている [1][2]。しかし、構造探索をしながらソフトウェア開発を行うための効果的なインタラクション手法は未だ確立されていない。

本研究はこれまでに、ジェスチャー操作方法やフィードバックの提案を行い、VR 環境での構造探索に適するソフトウェア構造可視化システム [3] を開発したが、将来的にこのようなシステムを用いて開発を行う場合にコーディングと構造の探索を並行して実施することが考えられる。この作業は MR のように実空間と仮想環境の融合をすることで、探索とプログラミングをスムーズに移行することが可能になる。一方で、VR 環境のように構造以外の情報を遮断し作業に集中することが困難になることも考えられる。

以上を踏まえて本稿では、システムを MR に対応させるとともに、これまでに反映したジェスチャー入力に対する課題に対処する。そして、構造探索に適した表示技術やインタラクション方法について調査を行った。

## 2 提案システムの概要と実装

### 2.1 システム概要

提案システムではソフトウェア構造を探索する場合、ソースコードの依存関係を 3D で表示し、ジェスチャーによって構造を探索する。さらに特定の操作を行うことによりクラスを強調表示するなどの、ソフトウェアの詳細情報を提示することが可能である。

本システムは図 1 に示すように、構造分析部、3D 構造作成部、操作認識部といった主要機能で構成される。

### 2.2 構造分析部

構造分析部では、ソースコード構造の分析を行う。構造の分析はソースコードを分析し、分析した情報を抽出することで可能になる。本研究では、コード分析を行う方法として J クラスレポート [4] のようなソース

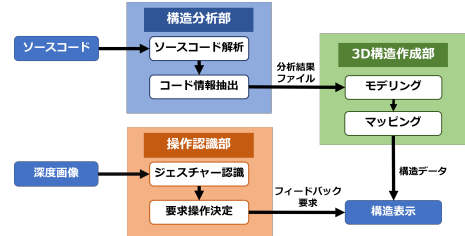


図 1: システム概要図

コード解析ツールを利用する。このツールの出力ファイルにはソースコード内での宣言や定義されたメソッドの名称や型を含んでおり、出力ファイルを 3D 構造作成部で分析しやすくするために、編集して利用する。

### 2.3 3D 構造作成部

3D 構造作成部ではソースコードの構造を表現した 3D 構造を作成し、表示させるまでの処理を行う。これらの操作を行うために本研究では Unity3D を利用する。構造分析部で生成されたファイルからソースコード情報を取得し、Unity 上に 3D 構造を作成することで VR、MR で構造を表示する。

### 2.4 ジェスチャー認識部

ジェスチャーを認識するために本研究では小型の USB 周辺機器で、3D 空間での手と指の位置を割り出す Ultraleap 社の Leap Motion を使用する。Leap Motion で認識するジェスチャーは、基本的な移動操作と提案機能を実行する操作となる。基本的な移動操作は、前後移動を行うピンチアウト操作、上下左右の移動を行うスワイプ操作、視点の回転を行う手首の回転操作である。提案機能を実行する操作は、これまでに提案した参照元の強調表示、抽出、そして表示する参照関係の切り替えの 3 種類の機能 [3] を実行する際に使用する。

Leap Motion は手の動きが認識できるよう、VR、MR ヘッドセットの前方に設置する。

### 2.5 MR への対応

ここではシステムを MR に対応させるために Microsoft 社の HoloLens2 を使用する。HoloLens2 では、Unity3D の実行画面をリアルタイムでストリーミングすることで構造を表示する。VR 環境での構造表示の様子を図 2:a に、MR 環境での構造表示の様子を図 2:b に示す。

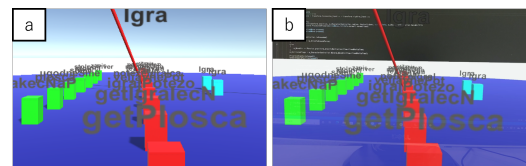


図 2: 構造表示の様子 (a: VR での表示, b: MR での表示)

## 3 操作に対するジェスチャー方法再提案

### 3.1 これまでのジェスチャー方法の課題

以前の評価実験 [3] において、複雑構造探索の所要時間は、コントローラと比較してジェスチャー操作の

A head-mount display-based system that supports understanding of software structure

† Tatsus} hi AOKI †† Airi TSUJI †† Kaori FUJINAMI

† Department of Bio-Functions and Systems Science, Tokyo University of Agriculture and Technology

†† Division of Advanced Information Technology and Computer Science, Tokyo University of Agriculture and Technology

場合に長くなることが明らかになった。この理由としてジェスチャーでの移動は1回の操作で決められた距離しか移動できず、長距離移動する場合には複数回操作を行う必要となることが考えられる。また、回転操作は手の形の維持が難しく、切り替え操作は動作が大きいいため、腕への負担となることが分かっている。

以上のことから、長距離移動操作と回転機能、切り替え機能の操作方法について改良を行った。

### 3.2 調査内容

20代の9名(男性6人, 女性3人)を対象として、前後の長距離移動操作と回転機能、切り替え機能の操作方法を決定するための調査を行った。回答者はHMDを装着し、コントローラを用いて操作を行う際の様子を確認する。その後聞き取り調査を実施し、機能に適したジェスチャーを回答者に実演してもらった。

### 3.3 調査結果

調査の結果、前後の長距離移動操作では9人中5人が手を前に出す動作を行った。その理由として手を前後に動かす動作に前後移動のイメージがあるという意見が得られた。回転操作では9人中7人が手や腕を回転させる動作を行った。その動作を選択した理由として、視点を回転させるので回転する動きをしたという意見が得られた。関係の切り替え操作では、9人中6人の回答者が手首や腕を回転させるジェスチャーを実演した。理由として回す操作にギアを切り替えるようなイメージがあるといった意見が得られた。

これらの結果より、前後の長距離移動操作は、手を前、または後ろに移動させる操作、回転操作は、車の運転でも使われる両腕を使ってハンドルを回すような操作、参照関係の切り替え操作に使用するジェスチャーは、ギアを回すように手を開いた状態で手首を回転させる操作に決定した。

## 4 異なる表示手法間での比較実験

### 4.1 実験内容

本稿ではシステムのインタラクション手法、表示技術が構造探索に与える影響の調査を目的として、オブジェクト指向プログラミングの学習経験がある右利きの20代12名(男性8人, 女性4人)を対象として、評価実験を行った。実験では、被験者はVR空間でのコントローラ、ジェスチャー、MR空間でのジェスチャーの3種類の操作方法で構造を探索するとともに、構造に関する問題に回答した。実験終了後に操作の難易度、直感性についてアンケートを実施した。構造に関する問題は3種類で構成されており、問1(1), (2)はクラスの構成要素について回答する問題で、問2(1), (2)は参照元のクラスについて回答する問題、問3(1), (2)は参照関係について回答する問題である。

### 4.2 実験結果

探索タスクの所要時間を図3に示す。問1(1)、問2はMR空間でのジェスチャー操作が最も長くなっていた。

次に操作の難易度に対するアンケートでの主観評価結果を図4に示す。結果からほぼ全て操作においてジェスチャーの操作が難易度が高くなる傾向にあった。

一方で、図5の操作の直感性に対するアンケート結果よりVRでのジェスチャーによる抽出操作、切り替え操作はコントローラより直感的であった。

MRでのジェスチャーはVRのジェスチャー認識方法と統一させるためにLeap Motionを使用したため、デバイス設置位置がレンズ上部にあるため認識しづらく、操

作に手間取ったことで探索時間が長くなったと考えられる。Hololens2はジェスチャー認識用のカメラがヘッドセット前方に内蔵されており、位置はLeap Motionよりも下部にあるため、手の認識がしやすくなると考えられる。また、MR空間ではヘッドセットの着脱なしに探索と現実作業をすることができるが、作業中の指の動きを認識して誤作動を起こすことがあった。これにより、回答時間がかかったと考えられる。

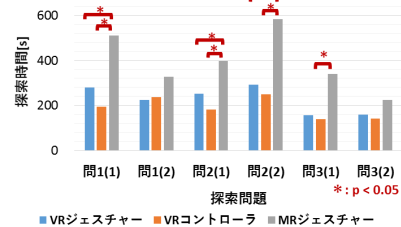


図3: 構造探索タスクの所要時間

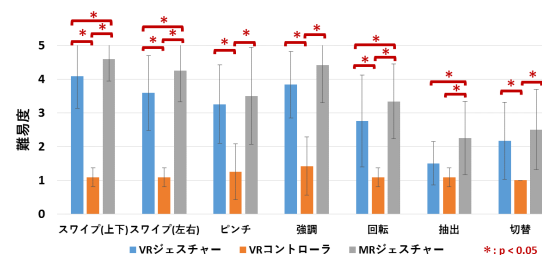


図4: 操作の難易度

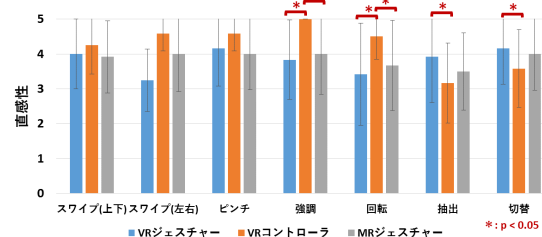


図5: 操作の直感性

## 5 おわりに

本稿では、ソフトウェア可視化システムをMRに対応させ、3種類のジェスチャー方法を再提案するための調査を実施した。結果から、長距離移動操作は手を前後に移動させる操作、参照関係の切り替え操作は手首を回転させる操作、視点の回転操作はハンドルを回すような操作に決定した。また、ユーザ評価実験を行った結果、Leap Motionの設置位置による影響でMR空間の構造探索時間は長く、ジェスチャーの難易度も高くなることが分かった。

今後は実験結果から、構造探索に適した表示技術やインタラクション方法について詳しく考察する。

## 参考文献

- [1] F. Fittkau, et al. Exploring software cities in virtual reality. In Proc. VISSOFT '15, pp. 130–134, 2015.
- [2] R. Oberhauser and C. Lecon. Towards virtual reality immersion in software structures: Exploring augmented virtuality and speech recognition interfaces. *IJAS*, Vol. 11, No. 1–2, 2018.
- [3] 青木, 他. 没入型ソフトウェア可視化システムにおける複雑構造理解に適したインタラクション手法. 第20回情報科学技術フォーラム講演論文集, 2021.
- [4] Next design. j クラスレポート. URL: <[http://www.nextdesign.co.jp/uml\\_java\\_tools/jclassreport.html](http://www.nextdesign.co.jp/uml_java_tools/jclassreport.html)> 最終アクセス 2021/12/23.