

利用関係の一致に基づくソフトウェア部品のクラスタリング手法 —類似度計算手法の評価方法に関する考察—

2019SE074 安藤宏樹 2018SE006 藤田幹太郎

指導教員：横森励士，井上克郎

1 はじめに

近年のソフトウェアは大規模化が進んでおり，それに伴ってソフトウェアを構成する部品数も増大している．このような環境の下では部品間の類似性などを利用してソフトウェアの構成要素を分類して効率的に把握する必要がある [1]．既存の研究 [2] では，利用部品の一致の割合に基づいて階層的クラスタリングを行うことで部品を分類する手法を提案し，[3]，[4]，[5] では，その手法のバリエーションを提案した．しかし，得られた部品群間の差分がどのような部品であったのかということと，どう組み変わったかにしか言及しておらず，定量的な評価を行っていない．また，手法提案の際の樹形図から類似部品群を得る過程で部品間の類似性を確認するために判断基準を設けているが，その基準が妥当であるかが示されていない．

本研究では，部品群の分類結果の違いを定量的に評価するために，予備実験として類似度評価マップを用いた評価方法を提案する．それに伴い，類似性の基準の妥当性についても評価を行う．評価実験では，予備実験の結果をもとに，理想的な結果を表すマップを複数作成し，それぞれと樹形図から得られた分類結果を示す表を組み合わせることで，どの基準が具体的に考慮されているかを評価する．

2 背景技術

2.1 ソフトウェア部品と部品グラフ

ソフトウェア部品とは，その内容をカプセル化した上で，ソフトウェアを実現する環境において交換可能な形で配置できるようにしたシステムのモジュールの一部分を指す．本研究では，各クラスのソースコードを記述しているファイルを部品とみなし，各部品を構成要素とする部品グラフを構成する．部品グラフ上の頂点は各部品を表し，辺は部品間の関係として利用関係を表現する．ある部品Aが他の部品Bを利用している場合，AからBへの利用関係が存在しているとみなし，頂点AからBへの有向辺で表現する．部品グラフの例を図1に示す．



図1 部品グラフの例

2.2 関連研究

横森らは，各ソフトウェア部品が利用している部品の集合がどれくらいの割合で一致しているかを求め，その一致度に基づいて距離行列を計算し，階層的クラスタリングを行う方法を提案した [2]．その方法では，分析結果から樹形図を作成し，樹形図の葉になっている部分からさかのぼって類似部品群を取得する．[2] の評価実験では，得られた部品群内の部品の多くに機能的な類似点が見られることが確認でき，ソフトウェア部品を利用関係の観点から分類できていると考えられる．

橋本ら [7] は，分類結果として得られた部品群において，部品群中の部品の共通点が共通して利用している部品の役割と関連があるかの調査と，多くの部品から利用されている部品についてそれを利用している部品がどう分類されるべきかを調べた上で，その集合が樹形図にどう表れるかを調査した．評価実験では，分類結果として得られた部品群のほとんどにおいて部品群中の部品の共通点と共通で利用している部品の役割が一致していた．

西川ら [8] は，利用関係の一致度に基づくソフトウェア部品の分類手法を数百クラス規模のソフトウェアに対して適用した場合でも，得られた部品群内の部品が共通性を有しているか，共通して利用している部品が部品群内の部品の理解に貢献できるかについて調査を行った．数百クラス規模のソフトウェアに適用した場合，主でない機能で結びつく部品の集合が一定の割合で出現していることと，主たる機能で結びついている部品群は部品群内の部品の共通利用部品と関連があることが分かった．

3 ソフトウェア部品分類結果の評価

3.1 過去の研究の問題点

研究 [3] や [4]，[5] において，各部品のソフトウェア内外の利用部品を調査し，部品間の利用部品の一致度や，共通利用数に基づいて部品を分類する手法が提案された．これらの研究では部品分類手法の提案のために，階層的クラスタ分析を行い樹形図を得る．この樹形図を基に類似した部品のまとまりを調査し，類似部品群を求める．調査の際に，部品間の類似性を確認するために判断基準を設けているが，具体的にどのまとまりに対し，どの基準から類似しているかを説明できていない．それぞれの基準が妥当であるのかが不明で，評価における説明も曖昧である．

3.2 類似度評価マップ

本研究では、jlgui という Java アプリケーションに対して予備実験及び評価実験を行う。jlgui は Java で書かれたグラフィカルな音楽プレイヤーで、70 のソースファイルで構成されている。実験では、初めに自らの手でソフトウェア部品間における類似性の有無を分析したものをまとめた表を理想とする類似度評価マップとして作成する。次に実際に階層的クラスタ分析を行いそこから得た樹形図を基に類似性の有無をまとめた表を作成する。2つの表を組み合わせて、2つの違いとして結果を評価する方法を提案する。分類結果と樹形図から得た表の結果の一致度を判定し、どのような観点で分類が行われているかを調査する。

3.2.1 類似度評価マップの定義

分析対象のソフトウェアの部品数を N とし、各部品には部品番号 $1 \dots N$ が割り当てられているとする。このとき、類似度評価マップを以下の条件を満たす行列とする。

- $N \times N$ の対称行列である。
- i 行目または i 列目は、部品番号 i の部品に対応する。
- (i, j) の項は、部品番号 i の部品と、部品番号 j の部品間の類似性の有無を表現する。
- 部品間の類似性があると判断した項を○、ないと判断した項を×、判断不可だった項を?と表記する。
- 同一部品を比較する対角成分 (i, i) は○とする。

s

3.2.2 樹形図の生成

理想とする類似度評価マップの比較対象となる分類結果として、jlgui に対し [2] で提案している手法に基づいて樹形図を得た。図 2 はこの手法を適用した場合に得られた樹形図であり、各類似部品群を赤枠で示している。樹形図から類似部品の集合を得て、その情報から内一致度で分類した場合の表を得た。その表では、同一の類似度部品群に含まれている部品の組を○、それ以外を×と表記する。理想とする類似度評価マップとこの内一致度で分類した場合の表を重ね合わせた結果に対して色付けをし、評価を行う。

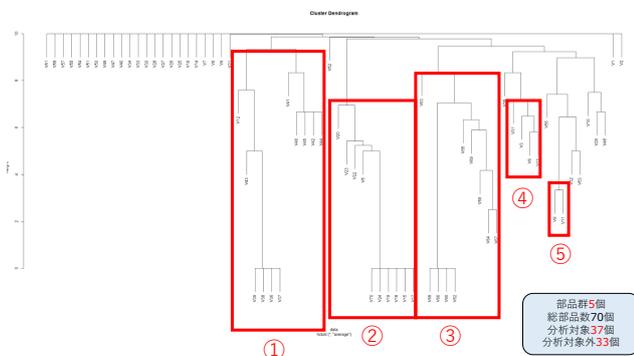


図 2 jlgui に対し [2] の手法で得た樹形図

3.2.3 類似度評価マップにおける比較結果の色付けについて

類似度評価マップを使って評価をする際に、理想とする類似度評価マップと樹形図から得た表の差異をわかりやすく把握するために色付けを行った。この色付けの方法では、特に理想とする類似度評価マップにおいて○と判断した領域に注目し、その領域を樹形図から得られた部品群がどれだけ占めているかを赤色と緑色のセルで表現することを意図している。各評価結果に対応する色付け方法を以下の図 3 に示す。図中の赤色は理想とする類似度評価マップでも樹形図でも○で評価された場合、緑色は理想とする類似度評価マップで○であったが樹形図で×と評価された場合、橙色は理想とする類似度評価マップで×であったが樹形図では○と評価された場合をそれぞれ表す。

		樹形図	
		○	×
類似度評価マップ	○	赤色	緑色
	×	黄色	青色
	?	白色	灰色

図 3 色付け方法

3.2.4 予備実験における理想とする類似度評価マップの生成における類似性の基準

この理想とする類似度評価マップを生成する際には、各部品間の類似性を判定する必要がある。そこで予備実験として、以下の 4 つの基準のどれかを満たすことを判定の基準として部品間の類似性を評価して、理想とする類似度評価マップを生成した。

- 部品の役割が同じである。ある 1 つの機能を実現する部品でまとめ、同じ目的の処理が行われている部品を類似性があるとみなす。
- 部品の扱う対象が同じである。必要な前処理や後処理が一致しているなど同種の処理が行われている部品を類似性があるとみなす。
- 同じパッケージに所属している。開発者が同種の目的と判断し、パッケージ構造の中で部品の整理を行った結果であると考えられる。
- ファイル名に関連がある。ファイル名には、そのファイルで実現した機能を明示するという慣習がある。ファイル名の一部が一致していることで類似した役割を持つとみなす。

3.3 予備実験と研究のアプローチについて

予備実験では、図 4 に 4 つの類似性のどれかを満たすという基準で作成した、理想とする類似度評価マップと樹形

図から得た分類結果を組み合わせ、色付けをし、評価したものを示す。

図4では緑色に色付けされた部分が多く、理想とする類似度評価マップと樹形図から得た分類結果との間で部品分類の意味付けが大きく異なっていることがわかる。具体的に図4における適合率は27%、再現率は74%である。このことから、4つの基準のうちどの基準が樹形図上での類似部品群の分類に反映されているかを確認するために、1つの基準だけを考慮した場合の理想とする類似度評価マップをそれぞれ作成し、樹形図上での類似部品群の分類結果と比較する。今回の研究ではこのような形で、上記で示した類似性の基準の妥当性についてもあわせて評価を行う。

以下では、4つの基準のうち、iの基準だけを考慮した理想とする類似度評価マップと、iiの基準だけを考慮した理想とする類似度評価マップを作成し、比較した結果を紹介する。実験では、予備実験と同じアプローチでそれぞれの理想とする類似度評価マップを樹形図から得た分類結果を示す表と組み合わせ、色付けをし、評価を行う。

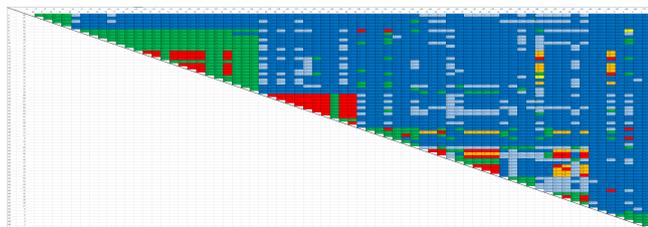


図4 予備実験. 理想とする類似度評価マップと内一致度樹形図から得た表を組み合わせた評価

4 評価実験

4.1 実験方法

評価実験では、iの部品の役割が同じであるという基準だけを考慮して作成した理想とする類似度評価マップと、iiの部品の扱う対象が同じであるという基準だけを考慮して作成した理想とする類似度評価マップを、それぞれ樹形図から得た分類結果を示す表と組み合わせる。以下では、iの部品の役割が同じであるという基準だけを考慮して作成したマップを理想とする類似度評価マップ2とし、iiの部品の扱う対象が同じであるという基準だけを考慮して作成したマップを理想とする類似度評価マップ3とする。

4.2 実験結果：類似度評価マップ2との組み合わせ

iの部品の役割が同じであるという基準だけを考慮して作成した、理想とする類似度評価マップ2を樹形図から得た分類結果を示す表と組み合わせ、色付けし評価した結果を図5に示す。緑色の部分が少なくなったことで、樹形図から得た分類結果では類似性を判断していなかった部分を含まなくなったことがわかるが、新たに橙色の部分が表れてしまっている。また、図5の適合率は48%、再現率は55%となり、予備実験と比較して適合率は増加したが、再

現率は減少してしまった。この基準だけではすべての部品群の類似性を示すには不十分であるとわかる。

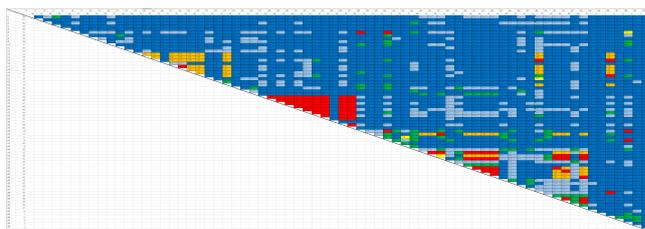


図5 理想とする類似度評価マップ2と樹形図から得た表を組み合わせた評価

4.3 実験結果：類似度評価マップ3との組み合わせ

iiの部品の扱う対象が同じであるという基準だけを考慮して作成した、理想とする類似度評価マップ3を樹形図から得た分類結果を示す表と組み合わせ、色付けし評価した結果を図6に示す。図6では、図5で橙色だった部分が赤くなっている。図6の適合率は62%、再現率は70%となり、図5に比べて、適合率も再現率も増加した。よって、樹形図から得た分類結果の大部分がこの評価基準で分類できていると判断できたことがわかる。

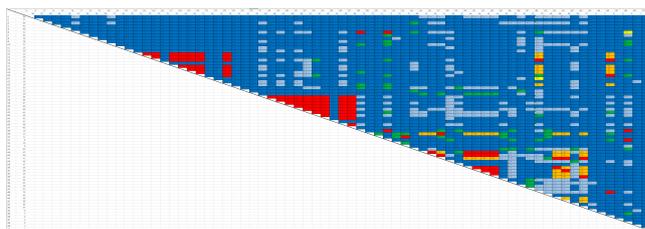


図6 理想とする類似度評価マップ3と樹形図から得た表を組み合わせた評価

5 考察

5.1 評価実験の考察

実験からはiの部品の役割が同じであるという基準では分類結果の一部が説明できたが、残りは説明できなかった。この基準だけではすべての部品群の類似性を示すことができなかった。一方でiiの部品の扱う対象が同じであるという基準で分類結果の大部分が説明できた。jlguiの樹形図から得た分類結果では、大半がこの評価基準で類似していると判断できたことがわかる。ただし、今回の結果ではiiの部品の扱う対象が同じであるという基準で説明ができたが、他の事例では、iの部品の役割が同じであるという基準でないと説明できない事例も存在する可能性がある。

一方、予備実験に含まれる、iiiの同じパッケージに所属しているという基準は比較時に緑色の部分が含まれる原因になっていた。樹形図による分類の方針とあっておらず、評価においてこの条件を含めるのは正しくないと考えられる。一方でivのファイル名に関連があるという基準につ

いては部品の役割が同じであるという基準や部品の扱う対象が同じであるという基準を判断するための基準として活用すべきであると考えられる。

5.2 追加実験

i の部品の役割が同じであるという基準でないという説明できない事例も存在するかどうかを調査するために、他のプロジェクトから得た樹形図における類似部品群について、部品の役割が同じであるという基準と部品の扱う対象が同じであるという基準の2つの基準のどちらで部品間の類似性を評価できたかを調査した。

追加実験では barbecue という Java アプリケーションに対してそれぞれ適用実験を行った。barbecue は国際規格に適合したバーコードを作成する Java アプリケーションで、59 のソースファイルで構成されている。barbecue に対し [2] で提案している手法に基づいて樹形図を得た。図 7 はこの手法を適用した場合に得られた樹形図であり、得られた7つの類似部品群を赤枠で示している。

実験結果として、図 7 の類似部品群 3、類似部品群 5 が i の部品の役割が同じであるという基準のみに当てはまり、ii の部品の扱う対象が同じであるという基準には当てはまらなかった。類似部品群 3 には外装の選択に関する部品が含まれており、類似部品群 5 には再生リストに関する部品が含まれている。一方で、類似部品群 1, 2, 4, 6, 7 は、ii の部品の扱う対象が同じであるという基準に当てはまり、i の部品の役割が同じであるという基準には当てはまらなかった。barbecue に対する分析結果からは、i と ii の基準で部品群における類似性が説明できそうであることと、それぞれどちらかの基準にのみ当てはまる事例があることがわかる。今後他のプロジェクトについても i と ii の基準で部品群における類似性が説明できそうであるかを調査し、結果の一般性を補強したいと考えている。

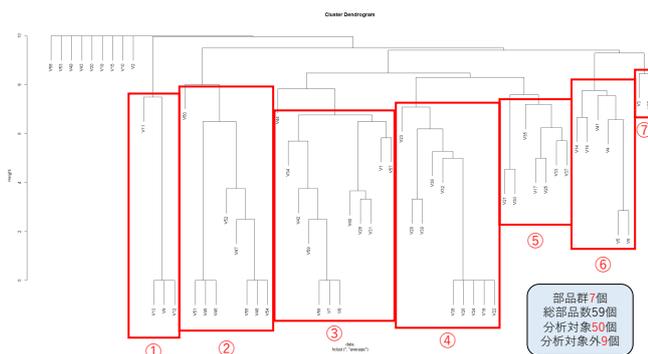


図 7 barbecue に対し [2] の手法で得た樹形図

6 まとめ

本研究では、樹形図から類似部品群を調査する際の類似性の判断基準が妥当であるのかを調査した。予備実験では同じパッケージに所属しているという基準を含んでいたのが緑色の部分が見られたが、評価実験で部品の役割が同じ

であるという基準と部品の扱う対象が同じであるという基準のそれぞれを1つだけを考慮した場合、緑色の部分が消えており、同じパッケージに所属しているという観点は類似部品群の類似性を示す特性ではないことが分かった。追加実験の結果からは、部品の役割が同じであるという基準と部品の扱う対象が同じであるという基準の2つが類似部品群の類似性を示す特性であると考えられる。今後、他のソフトウェアに対してこの2つの基準で同様の結果を得られるかを調査することで、一般性を評価したい。さらに、研究 [3] や [4], [5] では、各部品のソフトウェア内外の利用部品を調査し、部品間の利用部品の一致度や、共通利用数に基づいて部品を分類する手法が提案されてきた。これらの手法間の分類結果は大部分が一致しているが、一部の部品の組変わりが生じており、差分の評価が難しい。今後の課題として、提案する手法を用いて分類結果の差分を表現することで、評価を行うことを考えている。

参考文献

- [1] 小林健一, 松尾昭彦, 松下誠, 井上克郎: “SA r F: 依存関係に基づいてフィーチャーを集めるソフトウェアクラスタリング”, 情報処理学論文誌 (採録決定).
- [2] Reishi Yokomori, Norihiro, Yoshida, Masami, Noro, Katusro, Inoue, ”Use-Relationship Based Classification for Software Components”, Proceedings of the 6th International Workshop on Quantitative Approaches to Software Quality, pp.59-66,2018.
- [3] 藤田翔大, 清水太智, 戸本了太: “利用部品の共通性に基づくソフトウェア分類手法類似度計算手法に関する考察”, 南山大学理工学部 2019 年度卒業論文, 2020.
- [4] 青山季暉, 名和大騎: ”利用関係の一致度に基づくソフトウェア部品分類手法ソフトウェア外で定義された部品の利用関係を加味した手法の実現”, 南山大学理工学部 2020 年度卒業論文, 2021.
- [5] 石井敦士, 神田晃希, 村山健人: ”利用関係の一致に基づくソフトウェア部品のクラスタリング手法ライブラリ部品の利用も考慮した手法の実現”, 南山大学理工学部 2021 年度卒業論文, 2022
- [6] H. Zhong, T. Xie, L. Zhang, J. Pei, and H. Mei, ”Mapo: Mining and recommending API usage patterns, ” in proceedings of the 23rd European Conference on Object-Oriented Programming (ECOOP2009), pp.318-343, 2009.
- [7] 橋本敬太, 川瀬史也: “利用部品の共通性に基づくソフトウェア部品分類手法の評価”, 南山大学 理工学部 2018 年度卒業論文, 2019.
- [8] 西川 樹, 渡部 広夢, 渡辺 翼: “利用関係の一致に基づくソフトウェア部品のクラスタリング手法—数百クラス規模のソフトウェアに適用した場合の有効性の評価—”, 南山大学 理工学部 2021 年度卒業論文, 2022.