

主成分分析による Simulink モデルの品質評価の試み

峯岸 賢吾¹ 黒沢 祐樹¹ 上田 賀一¹ 深津 隆志² 久保 孝行³

概要: 近年、組込みシステム開発において Simulink を用いたモデルベース開発が注目されている。それに伴い、Simulink モデルの品質評価が望まれている。設計工程の品質評価は、工程の手戻り低減やシステム品質向上が見込まれる。本研究では、Simulink モデル品質を効果的に評価しうるメトリクスの導出と、モデル評価手法を提案する。具体的には、メトリクスを設計とレイアウトの観点から分類し、主成分分析により主成分得点を導出する。手法の信頼性は技術者のモデル評価結果との比較分析から評価する。適用実験の結果、モデルから求めた主成分得点と評価得点の間に相関関係があることを確認することができた。

キーワード: Simulink, 主成分分析, モデル品質評価, モデルメトリクス

Quality Evaluation of Simulink Model Using Principal Component Analysis

MINEGISHI KENGO¹ KUROSAWA YUKI¹ UEDA YOSHIKAZU¹ FUKATSU TAKASHI² KUBO TAKAYUKI³

Abstract: In recent years, model-based development using Simulink in embedded system development has been attracting attention. Accordingly, quality evaluation of Simulink model is desired. Quality evaluation of the design process is expected to improve system quality and to reduce rework process. In this study, we classify metrics that can effectively evaluate the quality of Simulink model, and we propose a model evaluation method. Specifically, the metrics are classified in terms of layout and design, to derive the principal component score by principal component analysis. We evaluate reliability of the method by comparing to the results of the model evaluation of engineers. On experiments, we have confirmed the correlation between the evaluation score of engineers and the principal component scores obtained from the model.

Keywords: Simulink, Principal component analysis, Model quality evaluation, Model metrics

1. はじめに

近年、組込みシステムの高機能化に伴い、大規模化・複雑化が進んでいる。同時に、開発期間が短縮される傾向があり、高い品質の維持が難しくなっている。組込みシステム開発では、安全性や信頼性を高める手法として、Simulink を用いたモデルベース開発が導入されている。Simulink モデルを作成することでシミュレーションやコードの自動生成が可能であり、設計・仕様ミスの早期発見が可能である。しかし、ソースコードにおける循環的複雑度やコードクローンといった複雑度や保守性に関する定量的な評価が、Simulink モデルには存在しないため、それらの品質特性が

満たされているかを判断することは難しい。

品質特性が満たされていることを測る手法の1つとして、オブジェクト指向開発を対象に、様々な観点から定量的に測定したものを表すメトリクスを用いて、UML 設計モデルの品質評価や欠陥の検出に関する研究が行われている [1][2]。主成分分析に基づきソフトウェアを評価しようとする研究もある [3][4]。メトリクスによる設計モデルの品質を評価することでシステムの品質を向上させることが見込まれる。

本研究では、Simulink モデルの評価得点とメトリクスを分析し、モデル品質を効果的に評価しうるメトリクスの導出、およびモデルの評価手法を提案する。まず計測するメトリクスを設計に関するデザインメトリクス、配置や見た目に関するレイアウトメトリクスに分類する。次に対象毎にグループ化したモデルに対し、分類したメトリクスの計測、主成分分析を行い、主成分得点と主成分の因子負荷量

¹ 茨城大学
Ibaraki University

² アイシン・コムクルーズ (株)
Aisin ComCruise Co., Ltd.

³ アイシン・エイ・ダブリュ (株)
Aisin AW Co., Ltd.

を求める。そしてモデルの評価得点と主成分得点の相関関係から、分析によるモデル品質の評価の妥当性を検討する。またグループ毎の因子負荷量を比較することで、共通の品質特性をもつメトリクスを導出する。

提案手法の妥当性を確認するため、適用実験を行い、主成分分析により、主成分メトリクスを特定したモデルの評価得点と主成分得点の関係、および各グループ間におけるメトリクスの傾向を考察した。

以下に、2章で必要となる関連知識を説明し、第3章では提案手法について述べる。第4章で適用実験を行い、結果について考察する。第5章で手法の妥当性について考察し、第6章で本研究のまとめと今後の課題を述べる。

2. 関連知識

2.1 Simulink モデル

Simulink モデルはブロック線図を基本としている。ブロックには入力・出力がありブロック間は入力から出力への信号線で結線される。様々な基本的なブロックを結線していくことで、制御系システムが表現できる。ブロックには、数値演算や論理演算、条件分岐、分野毎に特化したブロックセットがあり、幅広いシステムに対応している。

モデルにはサブシステムと呼ばれる階層構造を構築できる仕組みがあり、複数のブロックをまとめて、1つのサブシステムブロックとして扱うことができる。適切なサブシステム化により、モデルの理解や開発の再利用性を向上させることが可能である。他にもブロックや信号線に色や名前を設定することが可能である。

2.2 メトリクス

メトリクスは、成果物を対象に、様々な特性を定量的に計測した値である。Simulink モデルのブロックは、共通のプロパティとブロックの種類毎に固有のパラメータを持っている。モデルに含まれるブロックやラインのプロパティを取得することで、ブロック数やライン数といったモデル記述に関する多くのメトリクスを測定できる。

2.3 主成分分析

主成分分析とは多変量解析法の1つで、多くの特性を持つ定量的データを説明変数とし、目的変数を用いず、これらの説明変数を互いに相関の無い少ない個数の特性値にまとめる手法である [5]。主成分分析の結果は、主成分得点と、各主成分得点に対する変数の重みに相当する主成分負荷量 (因子負荷量) として求められる。

例えば、体力テスト (握力, 100m 走, ボール投げ等) から運動能力を総合的に評価する場合を考える。各測定項目を変数として、測定値を主成分分析し、主成分負荷量と各人の主成分得点を導出する。導出した主成分得点は、体力テストの総合的な評価となり、各成分の得点を分析するこ

とで、運動能力の特性を数値化できる。また、変数間の重みを分析することで、測定項目間の関係性を調べることもできる。

2.3.1 主成分得点

p 個の変数 x_1, \dots, x_p から総合特性を表す重み付きの和である合成変量

$$f = x_1\omega_1 + x_2\omega_2 + \dots + x_p\omega_p \quad (1)$$

を求めたい。個体 i をもつデータ行列 V に対し、 ω を行列 V の固有ベクトル、 λ を ω に対する固有値とする。これは全データのうち、それぞれの主成分がどの程度、説明しているかを示す。個体 i の各 $\lambda_j (j = 1, \dots, p)$ に対応する固有ベクトルを $\omega = (\omega_{j1}, \omega_{j2}, \dots, \omega_{jp})^T$ とするとき、

$$f_j = \omega_{j1}x_1 + \omega_{j2}x_2 + \dots + \omega_{jp}x_p \quad (2)$$

となり、 f_1, f_2, \dots を順次、第1主成分、第2主成分... という。また、 $\lambda_j / \text{tr}(V)$ を第 j 主成分の寄与率という。これは全データの分散のうち、それぞれの主成分で説明できる割合を示す。

各 j 番目の固有ベクトルを用いて、個体 i の主成分の値

$$f_{ij} = \sum_{k=1}^p \omega_{jk}(x_{ik} - \bar{x}_k) \quad (3)$$

を第 i サンプルの主成分得点という。

2.3.2 主成分負荷量

主成分 f_j と元の変数 x_k の相関関係を主成分負荷量という。分散行列の場合、

$$\text{主成分負荷量} = \frac{\sqrt{\text{固有値}} \times \text{固有ベクトル}}{\sqrt{\text{説明変数の分散}}} \quad (4)$$

相関行列 (標準化された変数) の場合、

$$\text{主成分負荷量} = \sqrt{\text{固有値}} \times \text{固有ベクトル} \quad (5)$$

となる。

2.4 Simulink モデル作成のガイドライン

Simulink の開発元である MathWorks 社と連携して活動する自動車メーカ、サプライヤによって、Simulink モデルの品質向上を目的とした基本的な記述ルールが規定されたガイドラインが作成されている [8][9]。ガイドラインの構成として記述内容の他に重要度や根拠などが示されている。ガイドラインの一部を表 1 に示す。このようなガイドラインは、評価者の観点をメトリクス化する際の指標となりうる。

3. 提案手法

3.1 手法の概要

Simulink モデルの品質評価とメトリクスの関係性を導出

表 1 ガイドラインの一部 (文献 [10] より引用)
Table 1 Part of guideline (quoted from [10])

タイトル	ブロックのサイズ調整
重要度	必須
範囲	MAAB
前提条件	なし
記述内容	ブロックは、アイコン表示 (テキスト、シンボル等) が確認できるサイズに調整すること。但し、入出力が多い Subsystem などサイズ調整が困難な場合は、アイコンの内容を代替手段で表示すること。
根拠	可読性の向上

する手順は次の 5 つのステップから構成される。

Step1 Simulink モデルの評価データを得る

Step2 Simulink モデルのメトリクスを計測する

Step3 主成分分析を行い、主成分得点・主成分負荷量等を求める

Step4 主成分得点とモデルの品質評価を比較し、関係性を確認する

Step5 各グループ毎の主成分負荷量を比較し、共通の品質特性を確認する

Step4 で使用するモデルの品質評価データは、MATLAB/Simulink の使用経験がある技術者に依頼し取得した。

3.2 メトリクスの分類と計測

本研究では Simulink モデルのメトリクスを 2 つのカテゴリに分類して分析する。ブロック数やサブシステム数等、モデルの設計・機能・構造に関するメトリクスをデザインメトリクス、ラインの交差数やモデル面積等、見た目に関するメトリクスをレイアウトメトリクスと定義し、別々の観点からモデルを分析する。

Simulink モデルからメトリクスデータを計測するツールとして、先行研究 [6] で開発したものを改良した。提案手法では、メトリクスの計測時にデザインメトリクス、レイアウトメトリクスに分類する必要があるため、改良したツールを参考に計測ツールを作成した。

計測するメトリクスの一覧を表 2 に示す。Simulink モデルから計測できるメトリクスの中から、デザイン、レイアウトの分類として有効と考えられるメトリクスを選定し、デザインメトリクスを 9 種、レイアウトメトリクスを 7 種に分類した。

デザイン側面に関係のあるメトリクスとして、モデル全体や一部の機能や情報を記述するアノテーションの数や、信号線の配置や結線に関係のある GotoFrom ブロックの数、信号がループしている箇所の数といった値を計測する。タグ数は、GotoFrom ブロックの対応関係を表すタグの種類数を計測する。最大ブロック数、最大ライン数はモデルに含まれる各サブシステムのブロック/ライン数の中で最大となる値であり、大きすぎるサブシステムが含まれてい

ないかを評価する目的で計測する。

レイアウト側面に関係のあるメトリクスとして、モデルの見た目上の面積の大きさを計測するためにブロックの上端から下端までの高さ、左端から右端までの幅をかけた値であるモデル面積や、信号線の交叉や曲がっている箇所の数 (交叉数、カーブ数)、長さ (ラインの長さ) といった値を計測する。逆走ライン数は、一般的に左から右に向かって結線される信号線が右から左の逆に向かっていているものを計測する。

これらのメトリクスは、モデルによる値の違いが現れやすいと考えられるものを選定した。

表 2 計測するメトリクスの一覧

Table 2 Calculated metrics

デザインメトリクス	レイアウトメトリクス
アノテーション数	ブロック面積
ブロック数	交差数
GotoFrom 数	カーブ数
ライン数	ラインの長さ
ループ数	逆走ライン数
サブシステム数	モデル面積
タグ数	最大モデル面積
最大ブロック数	
最大ライン数	

3.3 主成分得点と因子負荷量の導出

計測したメトリクスに対し、主成分分析を行い、主成分得点と因子負荷量を求める。

主成分得点、因子負荷量の導出には、MATLAB [7] の Statistics Toolbox の主成分分析関数を使用する。

3.4 モデル評価データと主成分得点の比較

各モデルの得点化された評価データと、デザイン、レイアウトメトリクスの主成分得点および総合得点を散布図を用いて関係性を比較する。総合得点は、デザイン、レイアウトメトリクスの主成分得点の合計を求め、平均 0、標準偏差 1 となるように標準化する。

3.5 共通の品質特性をもつメトリクスの導出

各グループの主成分負荷量より、グループ間におけるメトリクスの負荷量を比較する。全てのグループにおいて、メトリクスの負荷量が高い数値を示す場合、他のモデルでも同様に高い数値を示すと考えられ、このメトリクスは共通の特性をもった成分であると言える。デザイン、レイアウトメトリクスの累積寄与率が 80 % 以上になるまでの主成分を分析対象とする。

4. 適用実験

提案手法を実際のモデルに適用し、Simulink モデルの品

質特性とメトリクスとの関係性を調査した。本実験では妥当性を検証するため、2つのモデルを対象に実験を行う。

本実験では9個の車両モデルと、5つの基準モデルとそこから派生した合計79個の基準モデル群を分析対象とする。これらのモデルの規模を表3に示す。

表3 分析対象モデルの詳細
Table 3 Details of target models

モデル群	モデル数	ブロック数	サブシステム数
車両モデル	9	2331	180
基準モデル 1	17	1181	3
基準モデル 2	17	812	17
基準モデル 3	15	1269	20
基準モデル 4	15	2151	18
基準モデル 5	15	411	16
基準モデル計	79	5824	74

4.1 車両モデル

オートマチック・トランスミッションの制御システムを実装した車両モデル9個に対し、提案手法を適用する。各モデルはそれぞれ作成者が異なっており、同一の機能を過不足無く実装している。

各車両モデルには共通した構造をもつサブシステムが存在する。例えば図1に示す車両速度を計算するサブシステムは、全ての車両モデルに見られ、主に算術ブロックを組合わせた部分をサブシステム化する傾向がある。

一方、全体のサブシステムを構成する粒度やブロックの配置、条件分岐に使用するブロックなど、機能実現のアプローチが作成者により異なるため、同一機能をもつモデルであっても作成者により異なる。

車両モデルの品質評価は、MATLAB/Simulinkの学習経験がある学生5名により、全サブシステムの見やすさや理解しやすさの観点において、各個人の経験に基づいた印象で点数評価した。

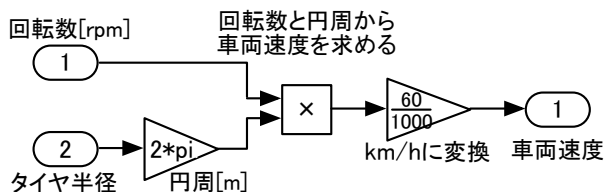


図1 車両モデルに含まれるサブシステムの例
Fig. 1 Example of subsystem in vehicle model

車両モデルから計測したデザイン、レイアウトメトリクスの例を表4に示す。測定結果から車両モデルIにおいてブロック数が51、タグ数が16、ライン数が251といった情報が得られる。

計測したデザイン、レイアウトメトリクスに対し、主成

表4 計測したメトリクス (車両モデルI)

Table 4 Evaluated metrics of vehicle model I

デザインメトリクス		レイアウトメトリクス	
アノテーション数	51	ブロック面積	622,885
ブロック数	196	交差数	5
GotoFrom 数	10	カーブ数	150
ライン数	251	線の長さ	28472
ループ数	6	逆走ライン数	7
サブシステム数	17	モデル面積	4,440,300
タグ数	16	最大モデル面積	914,760
最大ブロック数	23		
最大ライン数	42		

分分析を行い、導出した主成分得点を表5、表6に示す。モデルの主成分得点を表7に示す。評価データとの比較のために、計測得点を標準化した。デザインとレイアウトの計測得点の和を求め、標準化した得点をモデルの総合得点とする。ただし、表7で示したデザイン、レイアウト得点には符号を反転させる補正を加えて、標準化、総合得点を算出している。

表7 車両モデルにおけるデザイン、レイアウトメトリクスの主成分得点

Table 7 Principal component score of design and layout metrics in vehicle model

モデル	計測得点		標準化得点		
	デザイン	レイアウト	デザイン	レイアウト	総合
A	-7.81	2.69	-0.98	-0.67	-0.42
B	-7.48	-9.73	-0.94	-2.04	-1.28
C	-1.22	-12.58	-0.15	-1.57	-0.98
D	-12.37	5.25	-1.55	-0.96	-0.60
E	4.68	-10.77	0.58	-0.62	-0.39
F	4.16	0.80	0.52	0.61	0.38
G	0.31	5.25	0.03	0.63	0.39
H	9.27	8.85	1.16	2.16	1.35
I	10.46	10.83	1.31	2.53	1.59

デザイン、レイアウトメトリクスの因子負荷量を表8、表9に示す。各成分の寄与率は、成分1から徐々に減少し、成分5以降は5%以下になる。これらの成分の影響は小さく、主成分分析では無視できるものと考えられる。累積寄与率が80%を超えるまでを主成分としたとき、デザインメトリクスは成分1~成分3、レイアウトメトリクスは成分1、成分2が主成分の対象になる。

各モデルの主成分得点と因子負荷量の結果をデザインメトリクス、レイアウトメトリクスの観点から考察し、評価データとの比較を考察する。

表8に示したデザインメトリクスの因子負荷量から各成分の評価観点を推測し、各モデルの主成分得点と照らし合わせることで、デザインメトリクスの分析によって得られるモデル品質について述べる。主成分は成分1から成分3

表 5 車両モデルにおけるデザインメトリクスの成分得点

Table 5 Component score of design metrics in vehicle model

モデル	成分 1	成分 2	成分 3	成分 4	成分 5	成分 6	成分 7	成分 8	成分 9
A	0.249	0.790	2.495	1.373	-0.163	-0.531	-0.032	0.014	0.000
B	1.828	1.120	-1.345	0.504	0.846	-0.288	0.140	0.024	0.000
C	0.566	0.560	-1.175	-0.002	0.180	-0.294	-0.231	-0.052	0.000
D	3.212	-0.157	0.315	0.174	-0.521	0.938	0.029	-0.023	0.000
E	-1.619	0.863	0.793	-1.442	0.009	-0.141	0.131	-0.066	0.000
F	-1.742	1.268	0.318	-0.870	0.289	0.688	-0.089	0.064	0.000
G	1.449	-2.107	0.164	-1.507	-0.198	-0.570	-0.016	0.041	0.000
H	-1.975	0.164	-1.656	0.743	-1.086	-0.150	0.051	0.017	0.000
I	-1.969	-2.503	0.090	1.027	0.645	0.349	0.016	-0.018	0.000

表 6 車両モデルにおけるレイアウトメトリクスの成分得点

Table 6 Component score of layout metrics in vehicle model

モデル	成分 1	成分 2	成分 3	成分 4	成分 5	成分 6	成分 7
A	-0.652	0.495	0.021	-1.046	-0.158	0.165	0.118
B	3.116	-1.815	-1.008	-0.251	-0.118	-0.093	0.035
C	2.658	-0.082	1.858	0.291	-0.005	0.068	-0.003
D	-1.144	0.288	0.097	-1.495	0.146	-0.068	-0.093
E	1.759	2.607	-0.708	0.478	-0.042	-0.080	-0.003
F	-0.011	-0.439	-0.707	0.529	0.336	0.246	-0.085
G	-1.072	-0.422	0.444	0.219	-0.013	-0.191	-0.073
H	-2.120	-0.281	0.111	0.592	0.351	-0.102	0.136
I	-2.532	-0.349	-0.110	0.683	-0.495	0.054	-0.033

を対象とする。

成分 1 は、ブロック数、ライン数、サブシステム数の負荷量が高い。各因子はモデルを構成する基本的なメトリクスであることから、成分 1 はモデルの基本的な評価と考えられる。

成分 2 は、成分 1 で高かった因子が影響せず、代わりに最大ライン数、最大ブロック数が高くなっている。これらのメトリクスはモデルに含まれるサブシステムの比較によって得られるメトリクスである。成分 2 はモデルに存在する複雑なサブシステムの評価と考えられる。

成分 3 は、アノテーション数、GotoFrom 数、最大ブロック数の負荷量が高い。タグ数や最大ライン数もやや高くなっている。一方、成分 1 で比較的高かった因子は低くなっているため、成分 3 はモデルを構成する補足的な要素についての評価と考えられる。

得点を集計した表 7 から、最も高いデザイン得点をもつモデル I, H, 低い得点をもつモデル D, B を対象に、主成分得点からモデル品質を考える。表 5 から各モデルの成分をみると、モデル I は成分 1, 2 が低く、モデル H は成分 1, 3 が低い。モデル D は成分 1 が高く、モデル B は成分 1, 2 が高い。

各成分の評価観点から、モデル D は基本的な評価として、ブロック数やサブシステム数、ライン数が多い。全ての車両モデルは同じ機能を備えていることから、モデル D

は冗長な記述が多く、複雑であると推測される。モデル B は冗長なモデル記述に加え、複雑なサブシステムを持っているため、機能分割が必要と考えられる。一方、モデル H は簡潔にブロックやラインが配置され、アノテーション数やサブシステムの設計も適切であると推測される。モデル I はこれに加え、機能分割も適切であると推測される。

デザインメトリクス同様に、表 9 で示した因子負荷量から各成分の評価観点を推測し、レイアウトメトリクスの分析によって得られるモデル品質について述べる。主成分として成分 1, 成分 2 を対象とする。

成分 1 は、全体的に因子が大きく影響している。レイアウトメトリクスの分類に従うと、モデルの視認性に関する評価であると考えられる。

成分 2 は、負荷量の高い因子として、ブロック面積、モデル面積、最大モデル面積が挙げられる。どの因子も面積に関わるメトリクスであることから、サブシステムやサブシステムに含まれるブロック、全体としてモデルの見やすさを評価していると考えられる。

最も高いレイアウト得点を持つモデル I, H, 低い得点をもつモデル C, E を対象に成分得点からモデル品質を考える。表 6 から各モデルの成分をみると、モデル I, H は成分 1 が低い。モデル C は成分 1 が高く、モデル E は成分 1, 2 が高い。

成分得点とレイアウト評価の結果から、モデル I, H は

表 8 車両モデルにおけるデザインメトリクスの因子負荷量
Table 8 Factor loading of design metrics in vehicle model

	成分 1	成分 2	成分 3	成分 4	成分 5	成分 6	成分 7	成分 8	成分 9
寄与率	41.09	21.26	18.09	12.34	3.84	3.19	0.14	0.02	0.00
アノテーション数	-0.112	-0.217	0.452	0.645	0.388	-0.225	0.0001	-0.338	-0.051
ブロック数	0.512	0.077	0.016	-0.003	0.133	-0.167	-0.253	-0.060	0.785
GotoFrom 数	0.239	-0.266	0.344	-0.608	-0.083	-0.399	0.091	-0.404	-0.211
ライン数	0.482	0.147	-0.128	0.059	0.367	-0.246	-0.353	0.353	-0.528
ループ数	-0.362	-0.018	-0.363	-0.310	0.716	-0.215	0.238	-0.004	0.153
サブシステム数	0.494	0.031	-0.151	0.206	0.012	0.045	0.827	-0.002	-0.047
タグ数	0.176	-0.561	0.239	-0.176	0.320	0.641	-0.034	0.223	0.022
最大ブロック数	-0.143	0.339	0.642	-0.134	0.052	-0.157	0.241	0.575	0.125
最大ライン数	0.082	0.649	0.187	-0.146	0.266	0.465	-0.041	-0.460	-0.117

表 9 車両モデルにおけるレイアウトメトリクスの因子負荷量
Table 9 Factor loading of layout metrics in vehicle model

	成分 1	成分 2	成分 3	成分 4	成分 5	成分 6	成分 7
寄与率	60.13	19.64	10.19	8.67	0.97	0.29	0.10
ブロック面積	0.291	0.421	0.562	-0.520	0.285	0.260	-0.028
交差数	0.418	-0.243	-0.440	-0.143	0.661	-0.166	-0.294
カーブ数	0.430	-0.282	-0.278	-0.233	-0.467	0.619	-0.023
線の長さ	0.482	-0.035	0.001	-0.123	-0.155	-0.487	0.699
逆走ライン数	0.303	-0.381	0.480	0.631	0.237	0.253	0.111
モデル面積	0.447	0.258	0.139	0.238	-0.402	-0.367	-0.599
最大モデル面積	0.171	0.685	-0.402	0.427	0.142	0.289	0.226

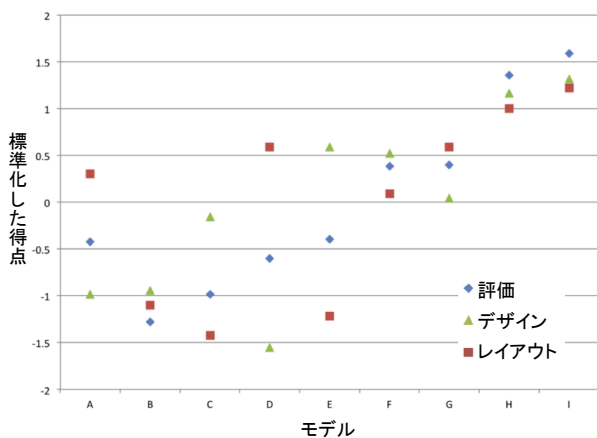


図 2 車両モデルにおけるメトリクスの主成分得点と評価得点

Fig. 2 Principal component score and evaluation score in vehicle model

モデルの視認性が高く、モデル C は視認性が悪い。モデル E はサブシステムの面積やブロック面積が広く、同様に視認性が悪いと考えられる。

評価データと主成分分析によって得られた主成分得点を比較する。散布図を用いて評価得点と主成分得点をプロットしたグラフを図 2、図 3 に示す。モデルは評価得点の低い順に記号を割当て、標準化した主成分得点・評価得点をプロットした。

図 2 に示したデザイン、レイアウト得点を比較すると、

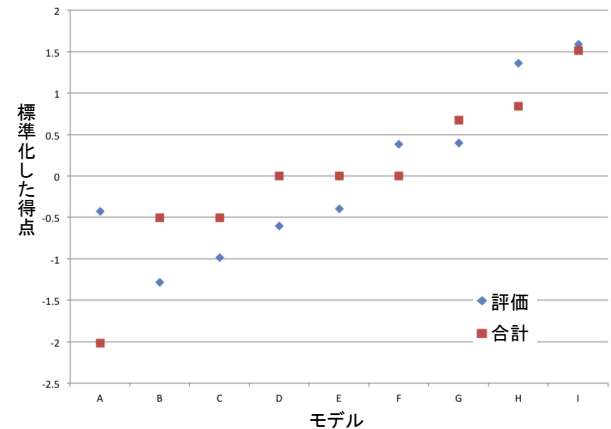


図 3 車両モデルにおけるメトリクスの主成分合計得点と評価得点

Fig. 3 Principal component total score and evaluation score in vehicle model

モデル F 以降の評価得点には相関がみられるが、モデル A, C, D, E はデザイン、レイアウト得点が大きく離れている。これらのモデルに共通する特徴として、モデルクローンの存在が挙げられる。クローンの構造によって、デザイン得点やレイアウト得点に影響しているとみられる。モデルクローンをどのように評価に取り入れるかは、さらに検討が必要である。

デザイン、レイアウトメトリクスの主成分得点を合計した図 3 では、高い相関があると考えられる。しかしモデ

ル A のみ評価得点と大きく離れていることから、評価者に採点の理由を尋ねたところ、複雑なサブシステムの存在が理由として多く挙げられた。現在のモデルの評価は、サブシステム毎に計測したメトリクスの合計を分析しているため、1つのサブシステムが悪い場合でも、他のサブシステムによって埋もれてしまうと考えられる。

4.2 基準モデル群

基準モデルは自動車制御の部分機能に関するものである。これらは品質評価の基準となるように企業技術者が作成したモデルで、用意した5つの基準モデルは100点満点中50点とみなす。この5つの基準モデルに、7名の企業技術者が改良・改悪を加え、それぞれ12~14個のモデルを作成した。

手法の適用は次の手順で行う。

(1) 共通するメトリクスの導出

基準モデルと派生したモデルをグループとして、主成分分析を行う。グループ間の主成分負荷量を比較し、共通する品質特性をもつメトリクスを導出する。

(2) 評価得点との比較

各モデルには技術者による評価観点および評価得点が付いている。これらは技術者による改良点と加点、改悪点と減点として評価されたものである。評価得点と主成分得点を比較し、分析におけるモデル品質の評価の妥当性を調べる。ただし、得点の導出において、車両モデルの分析で導出したデザイン、レイアウトメトリクスの因子負荷量を用いる。

基準モデル群の評価データを表 10 に示す。基準モデルを50点として、そこから派生した Bad, Good モデルを技術者が評価した。各モデルの評価は1~2名で行われたため、点数のばらつきは少なく、Bad モデルでは30点前後、Good モデルでは80点前後に集まっており、評価モデル03番では0点か100点という極端な評価になっている。

本実験では評価されていない Bad モデルに対応する Good モデルは評価の対象外とした。

各モデルのグループに主成分分析を行い、メトリクスから因子負荷量を導出し、特性の共通性を分析する。車両モデルの実験と同様に、累積寄与率が80%を越えた成分を対象に、因子負荷量を比較した。

デザインメトリクスは、アノテーション数、ブロック数、ライン数、サブシステム数、レイアウトメトリクスは、交差数、逆走ライン数、線の長さの因子負荷量がそれぞれ高い数値で推移していた。これらのメトリクスは、他のモデルにおいても同程度の負荷量になると考えられるため、共通となる品質特性を示すメトリクスとして位置づけられる。

一方、サブシステムを対象とするメトリクスである最大ブロック数、最大ライン数、最大モデル面積の値は基準モデルによって大きく変動していた。今回対象としたモデル

の規模は比較的小さいものであったため、サブシステムを対象としたメトリクスの評価が十分でなかったと考えられる。

モデルへの適用結果から得られた、標準化した総合得点と評価得点の散布図を図 4 に示す。適用結果から、評価得点と総合得点の間に相関が見られたが、左上にいくつかの外れ値が存在している。

外れ値が発生した原因は、総合得点を計算するメトリクスにモデル規模の違いを考慮していないものを利用していたことが考えられる。そこで、デザインとレイアウトメトリクスを見直し、モデル規模による影響を考慮したメトリクスへ変更する。

デザインメトリクスのモデル規模との関係が強いメトリクスであるブロック数、ライン数、サブシステム数はモデル規模の影響を減らすためにメトリクスを合成しブロック当たりのライン数とサブシステム当たりのブロック数に置き換えた。レイアウトメトリクスのモデル面積からブロック面積を引き、余白面積にまとめた。また、ループ数は逆走ライン数に、タグ数は GotoFrom 数と相関関係が強いため、除去した。さらに、GotoFrom 数は機能的意味合いが強いと考えたが、見やすさの改善に用いられていることがわかり、対応グループを変更した。

変更後の計測対象のメトリクスを表 11 に示すメトリクスを見直した後のモデルへの適応結果から得られた散布図を表 5 に示す。変更後の結果から、外れ値となるモデルが検出されなくなったことで、相関係数が高くなりモデルの評価結果が改善された。この結果から、総合得点が+1以上のモデルが非常に良いモデル、-1以下のモデルが非常に悪いモデルとして評価することができると考えられる。

表 11 改良した計測メトリクスの一覧

Table 11 Calculated metrics after reviewing

デザインメトリクス	レイアウトメトリクス
アノテーション数	GotoFrom 数
ブロック当たりのライン数	交差数
最大ブロック数	カーブ数
最大ライン数	ラインの長さ
サブシステム当たりのブロック数	逆走ライン数
	余白面積
	最大モデル面積

5. まとめと考察

5.1 主成分分析による品質評価の妥当性 車両モデルについて

車両モデルの評価得点と分析による品質評価に相関があることを確認した。評価者が5名と少なく正確な評価とはいえないものの、分析によってモデルのもつ品質の問題を説明できるため、一定の信頼性はあるといえる。一方、特

表 10 基準モデルの評価得点
Table 10 Evaluation score of standard model

Base	Bad モデル									Good モデル							
	01	02	03	06	07	08	09	10		01	02	03	06	07	08	09	10
01	35	15	0	35	25	30	20	30		75	80	100	87.5	95	85	90	75
02	25	25	0	33.5	32.5	32.5	30	35		90	85	100	90	95	87.5	85	75
03	30	35	-	33.5	32.5	27.5	30	35		80	70	100	92.5	92.5	87.5	70	85
04	15	30	-	33.5	30	30	30	20		55	60	100	90	92.5	87.5	75	75
05	20	25	-	33.5	30	32.5	45	40		65	85	100	90	92.5	87.5	70	60

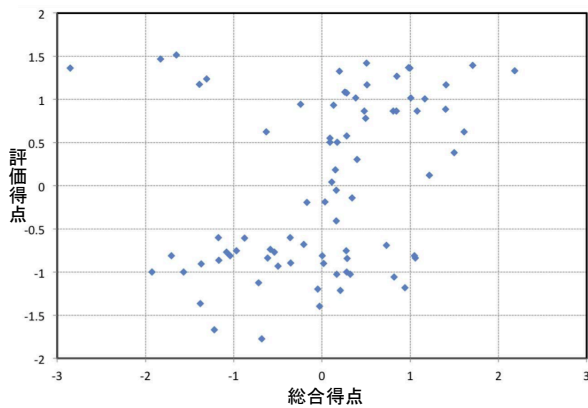


図 4 評価得点と総合得点の比較

Fig. 4 Scatter diagram of evaluation score and total score

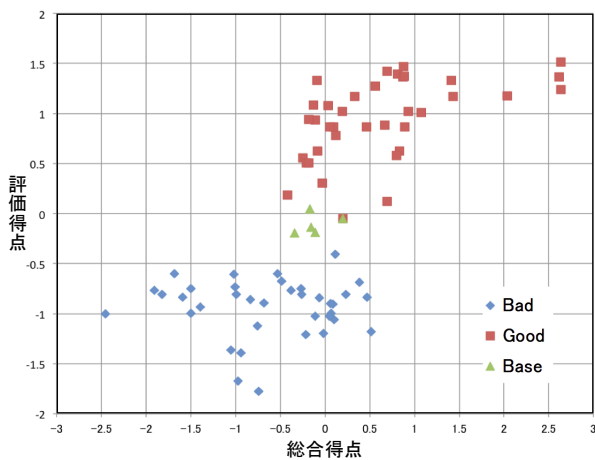


図 5 改良後の評価得点と総合得点の比較

Fig. 5 Scatter diagram of evaluation score and total score after reviewing

定のサブシステムが極端に悪い品質であるとき、モデル全体の評価を考慮すると、他のモデルが影響して反映されない場合がある。サブシステムを対象としたメトリクスの追加や評価方法が必要と考えられ、主成分得点に反映される仕組みが必要である。またモデルクローンは構造を複雑にするが、理解性を損なわない可能性が高く、現在のデザインメトリクス、レイアウトメトリクスとは別のアプローチが必要と考えられる。

基準モデル群について

車両モデルで導出した因子負荷量から、基準モデル群の主成分得点を求め、総合得点と評価得点に相関があることを確認した。車両モデルで使用した計測メトリクスを利用した場合に、外れ値として検出されたモデルが発生した。そこで、モデルの規模を考慮したメトリクスに変更し、外れ値が発生しない評価結果を得ることができた。これにより、非常に良いモデルと非常に悪いモデルの識別は可能となったが、モデルの評価得点が中央に集中しているため、より詳細な得点分布に分けることが、今後の課題として挙げられる。

導出した共通メトリクスの妥当性

デザインメトリクスとレイアウトメトリクスで共通の品質特性をもつメトリクスが導出できた。実験で5つの基準モデル群から導出しているため、ある程度の信頼性があると考えられる。分析に用いたモデルは比較的小規模であるため、モデル全体より特定のサブシステムを対象とした品質評価の手法として有用であると考えられる。

6. おわりに

本研究では Simulink モデルにおける品質特性とメトリクスの関係性を主成分分析を用いて導出する手法を提案した。メトリクスをデザインメトリクス、レイアウトメトリクスに分類し、Simulink モデルからこれらを計測するツールを開発した。提案手法では、モデルの評価得点と主成分得点の散布図から関係性を導出した。またメトリクスの主成分負荷量を比較し、共通の品質特性を導出した。提案手法の妥当性を検証するため、車両モデルと基準モデルを用いた適用実験を行った。車両モデルでは評価得点とメトリクスの総合得点に相関関係を確認することができた。基準モデルでは総合得点から非常に良いモデルと非常に悪いモデルを識別できることを確認した。複数の基準モデル群を比較した結果、共通のデザインメトリクス、レイアウトメトリクスを検出することができた。今後の研究として以下の点が挙げられる。

モデルの評価について

各サブシステムから計測したメトリクスの総和を、モデルの評価として分析しているため、特定のサブシステムが

極端に悪い場合であっても、モデル全体の評価には強く影響しない。つまり、モデルを構成するサブシステム毎の評価が必要であると考えられる。サブシステムの評価には、今回導出した、共通する特性をもつメトリクスを用いることで、モデルの品質を分析できると考えられる。

本モデル評価手法の一般性を検討するには、さらなる多くの適用実験が必要になると考えている。

モデルクローンについて

モデルクローンによって生じるモデルの複雑さは、理解性の評価とは必ずしも一致しない。つまり、モデルの複雑さは、理解性と違う観点から分析する必要があり、これらを表すメトリクスとして、クローン数、Halstedメトリクス、を追加することで、適切な結果が得られると考えられる。

参考文献

- [1] 佐藤 美穂, 田村 真吾, 上田 賀一 :UML 設計を対象とした品質評価モデルの検討, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.7, pp.2319-2327 (2009)
- [2] 浦田 大地, 藤原 雄介, 平山 力地, 濱崎 一樹, 吉田 則裕, 飯田 元 (奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科) :ソフトウェア品質の第三者評価を目的としたメトリクス基準値導出法の提案, 電子情報通信学会 信学技報, Vol.113, No.24, IEICE-SS2013-10, pp.55-60 (2013/05)
- [3] Turan, M.and Cataltepe, Z. :Clustering and dimensionality reduction to determine important software quality metrics, 22nd international symposium on Computer and information sciences, pp.1-6 (2007)
- [4] 阿萬 裕久, 山崎 健司, 山田 宏之, 野田 松太郎 :主成分・相関分析によるメトリクスの定量的検証法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-D1, No.10, pp.1000-1002 (2002)
- [5] 内田 治 :主成分分析の基本と活用, 日科技連出版社 (2013/10)
- [6] 佐々木 翼, 峯岸 賢吾, 上田 賀一 :Simulink モデルの品質特性分析支援ツールの開発と適用事例, 電子情報通信学会技術研究報告, 信学技報, Vol.112, No.496, pp.7-12 (2013/03)
- [7] The MathWorks :MATLAB
<http://www.mathworks.com/products/matlab/> .
- [8] The MathWorks :MathWorks Automotive Advisory Board (MAAB)
<http://www.mathworks.co.jp/automotive/standards/maab.html/>
- [9] JMAAB (Japan MATLAB Automotive Advisory Board)
<http://jmaab.mathworks.jp/>
- [10] CONTROL ALGORITHM MODELING GUIDELINES USING MATLAB®, Simulink®and Stateflow®Version 2.0 (和訳)