

理解性を考慮した制御ソフトのための定量評価指標

Quantitative metrics control software structure using the inter-group feedback

中井 淳一 *1

Junichi Nakai

*1AZAPA 株式会社

AZAPA Co., Ltd.

The structure of the control software is usually complicated. However, its complexity is difficult to measure quantitatively. Thus, developers want indicators to measure the software structure. In this study, a structure index of control software, using the network structure metrics graph theory, to evaluate the grouping with the inter-group feedback.

1. はじめに

制御ソフトの構造は、複数の開発者による作成、後からの機能追加等の繰り返しにより、複雑な構造になりやすい。また、派生開発が繰り返されることで分かり難くなっていく。その際、ソフトの要素を分解し、構造を再構築する技術は、多くのソフトウェア開発者が熱望している。しかし、多くの実際の開発現場において、制御ソフトにおけるグループ化の現状は、熟練者による経験とセンスに依存している。しかも、その良し悪しもユーザーにより異なり、その評価が難しく、ソフトウェアの複雑さは定量的に測ることが難しい。そのため、ソフト構造の良し悪しを定量的に測るための指標が求められている。

中村らは有向グラフ分析により、ソフトウェアの保守性を評価することを提案している [中村 2014]。また、近年ソフトウェア開発、特に自動車業界において、モデルベース開発が広く普及している。そのために用いられるモデリングツールの1つが MATLAB/Simulink である [Ramos-Hernandez 2005]。MATLAB/Simulink は、数多くの部品が用意されており、これらを繋ぎブロック線図を作成し、簡単にモデルを作ることができる。作成したモデルはすぐに動作を確認でき、制御仕様の検証が容易で、早期の品質確保が可能となる。しかし、MATLAB/Simulink モデルも開発が進むと、これまでの制御ソフトウェアと同様、モデルが大規模化・複雑化しやすく保守性が低下しやすい問題がある [Farkas 2009]。実際の開発現場では数億を超えるブロックで構成される場合もある [Brisolara 2005]。小澤らは、この問題に着目し、MATLAB/Simulink モデルのクラスタリングを行うことで、保守性を向上させることを提案している [小澤 2013]。しかし、そのクラスタリング結果の良し悪しの評価はユーザーの経験とセンスに依然として依存している。

鈴木らはサブシステムの凝集度に着目して、Simulink モデルの設計品質を図るためのメトリクスを提案している [鈴木 2014]。これは、Newman らが提案したモジュラリティに似た評価の仕方である [Newman 2004]。モジュラリティとは、ネットワークの与えられた分割に対して、「グループ内のノード同士が繋がるラインの割合」から「ラインがランダムに配置された場合の期待値」を引いた値である。この値が高ければ高いほど、グループ内のラインが密、グループ間のラインが疎になり、結果的に関連の深いノード同士がグループとなるほど、高い値を

取る。

しかし、グループ間のフィードバックは上流工程の手戻りを誘発する等問題を引き起こす可能性が高いにも関わらず、それを考慮した評価指標は少ない。グループ間フィードバックが多いと、分業時に手戻りが増加したり、制御ソフトを読み解く際の理解性が落ちたりする。また、ブラックボックステスト時に前工程と次工程の間にフィードバックがあると、前工程のグループの計算結果を受けて、次工程が計算を行い、その計算結果が前工程にも影響を与えてしまうため、手戻りが増加し繰り返し計算する必要があるため、テスト工程が大幅に増加してしまう。

本研究では、制御ソフトの構造指標として、グラフ理論のネットワーク構造評価指標モジュラリティに、理解性に影響を及ぼすソフト内のデータの手戻りやグループ構造を数値化し、それらを加えることで、制御ソフトのグループ分けを定量的に評価するための指標を提案する。また、その指標の活用法を示す。

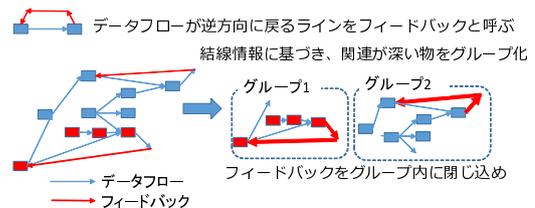


図 1: 提案評価指標が高い場合の例

2. 前置き

ここでは、本研究で用いる関連手法について述べる。まず、制御ソフト構造全体を見やすくする手法として DSM (Design Structure Matrix) について説明し、クラスタリング結果のコミュニティの質を数値化するための指標モジュラリティについて説明する。また、提案手法の比較対象である Newman 法と Affinity Propagation について説明し、そのアルゴリズムを明確に示す。

2.1 DSM (Design Structure Matrix)

本研究では、制御ソフト構造、グループ分け結果を見やすくするために、DSM を用いる。DSM (Design Structure Matrix)

連絡先: 中井淳一, AZAPA 株式会社, nakai@robotjn.com, junichi-nakai@azapa.co.jp

は Steward らによって考案された [Steward 1981], 工程・組織設計のための手法であり, ノードを項目, ラインを行列として表現する手法である (図 2 参照). 基本アルゴリズムはパーティショニングとクラスタリングである. この手法で出来る事として①見える化, パーティショニングによる②順序整理 (手戻り最小化), クラスタリングによる③グルーピングなどが行いやすくなる (図 3 参照).

特に本研究では, ①の見えるかをソフトウェア構造の全体を把握し, 基本的な指標の算出に, ②の順序整理 (手戻り最小化) をグループ間フィードバック数を数えるために使用している.

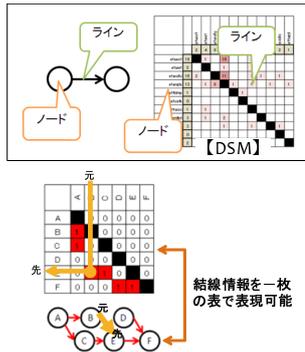


図 2: DSM の概要

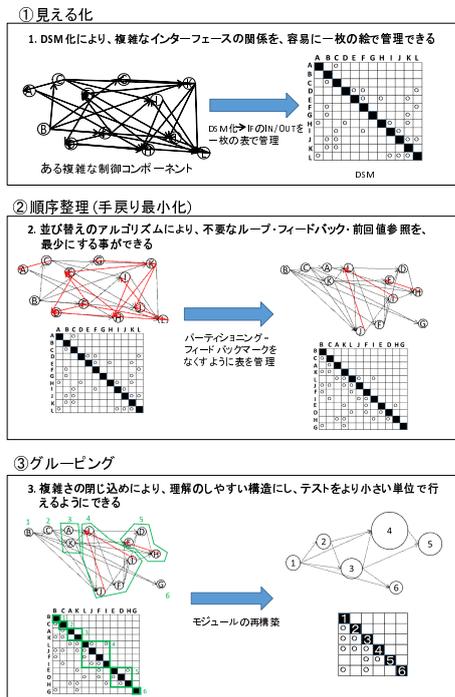


図 3: DSM で出来る事

本研究では, DSM 自体にプロセスの情報を含んではいないが, 制御ソフトウェアを構成する要素の順序やフィードバックが, 上流工程での手戻りを誘発すると考え, それらの順序整理も合わせて行う. さらに, フィードバックをグループに閉じ込

めるほど高い値をとる指標を作成することで, 上流工程 (読み解き, テスト等) での手戻りの減少具合を評価するための指標を提案する.

2.2 モジュラリティ

本研究で用いているモジュラリティは Newman らが提案したものを使用している. これはコミュニティの質を数値化するために定義され, ネットワークのコミュニティ抽出の際などにも有用な指標として用いられている. その値が高ければ高いほど, グループ内のラインは密, グループ間のラインは疎となり, 良いグループ分けであるという考えに基づいている. モジュラリティ Q は

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{vw} [A_{vw} - \frac{k_v k_w}{2m}] \delta(c_v, c_w) \quad (1)$$

で表現される. その値は $-1 \leq Q \leq 1$ である. ネットワークの隣接行列を A で表し, m はラインの数である. 隣接行列の成分の和は $\sum_{vw} A_{vw} = 2m$ となる. v, w はあるノードを表す添え字であり, 行列成分 A_{vw} はノード v, w 間に存在するラインの数となる. k_v, k_w はノード v, w の次数である. δ はクロネッカーのデルタ, c_v, c_w はノード v, w のグループであり, これらは同じグループに属する v, w の組み合わせを表現している. 計算としては, ネットワークの与えられた分割に対して, 「グループ内のノード同士が繋がるラインの割合」から「ラインがランダムに配置された場合の期待値」を引いている. この値が高ければ高いほど, グループ内のラインが密, グループ間のラインが疎になり, 結果的に関連の深いノード同士がグループを形成する. 本論文の対象は Simulink モデルであるため, 本来は有向グラフであるが, 有向グラフを無向グラフとしてモジュラリティを計算しても大きな差はないことが Newman らにより報告されている [Newman 2004]. そのため, 本研究でも, 無向グラフとしてモジュラリティを算出する.

3. 提案評価指標

提案評価指標 F_r はノードとラインの関係, ラインの本数を用い,

$$F_r = Q \times \exp(-b \frac{\text{feedback}}{\text{AllLineNumber}}) \quad (2)$$

で算出する. その値は $-1 \leq F_r \leq 1$ であり, 指標として扱いやすい範囲に収まっている. 様々な Simulink モデルに適用した経験から, 概ね 0.6 付近であれば, 良い構造を表現している. feedback がグループ間フィードバックの数, Q がモジュラリティの値をそれぞれ表す. AllLineNumber は対象モデルの総ライン数である. b はフィードバック数の比重のための調整パラメータである. グループ間フィードバック数の影響が, 値が大きいほど, 大きくなる. 基本的にはグループ間フィードバック数は少ないほうが良いので $b = 10$ としている. 但し, ある程度のグループ間フィードバック数を許容するならば b を小さくしていくと, その影響は少なくなり, 0 になると, モジュラリティと同値となる.

このとき, グループ間フィードバックの数は, その数が最も少なくなるグループ順序に並べ替えたうえで数えると, モデル構造上不可避な, 本質的なフィードバック数となり, 何も操作をせずグループ間フィードバック数を数えると, グループ配置ミスによるフィードバック (逆向きライン) も含め評価が可能である. これらの値を用いることで, 製作者のミスによるグループ間フィードバックを見つけることが可能である.

フィードバック最小化のアルゴリズムは図 4 の通りである.

- ① DSM でフィードバックマーク（対角線を跨ぐ右上）を検索
- ② 発見したフィードバックマークを対角成分を跨ぐ左下側の最近傍セルまで移動
- ③ ①で発見した全フィードバックマークに②の処理を実行して終了

図 4: フィードバックマーク最小化アルゴリズム

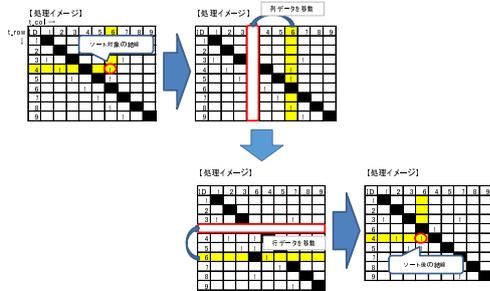


図 5: フィードバックマークの移動

4. 評価実験

提案評価指標をサンプルモデル (図 6 参照) に適用し、その性能を評価した。このサンプルモデルは特に機能はなく、simulink ブロックを適当に組み合わせて作成した。ブロック数は 69 個、ライン数は約 80 本である。

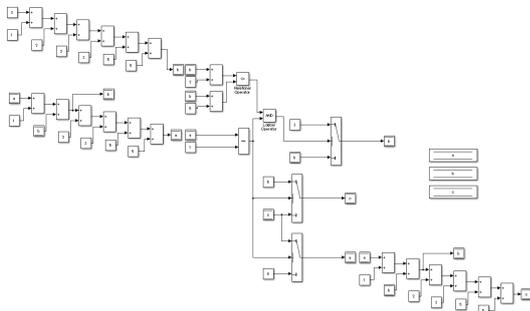


図 6: サンプルモデル

サンプルモデルを提案評価指標が 0 から 0.6 付近になるようにグループ分けを行った。その結果を simulink モデルと共に図 7 に、DSM と共に図 8 に示す。モジュラリティが増加すると、提案評価指標値も高くなり、グループ間フィードバック数が増加すると、提案評価値が低くなっている。モジュラリティ値とグループ間フィードバックのバランスに応じて評価値が変化することで、その Simulink モデルのグループ分けの理解性を概ね表現できているように思われる。

5. おわりに

制御ソフトの構造は、複数の開発者による作成、後からの機能追加等の繰り返しにより、複雑な構造になりやすい。また、派生開発が繰り返されることで分かり難くなっていく。その際、ソフトの要素を分解し、構造を再構築する技術は、多くのソフトウェア開発者が熱望している。しかし、多くの実際の

開発現場において、制御ソフトにおけるグループ化の現状は、熟練者による経験とセンスに依存している。しかも、その良し悪しもユーザーにより異なり、その評価が難しく、ソフトウェアの複雑さは定量的に測ることが難しい。そのため、ソフト構造の良し悪しを定量的に測るための指標が求められている。

本研究では、制御ソフトの構造指標として、グラフ理論のネットワーク構造評価指標モジュラリティに、理解性に影響を及ぼすソフト内のデータの手戻りやグループ構造を数値化し、それらを加えることで、制御ソフトのグループ分けを定量的に評価するための指標を提案した。また、その指標の活用法として、グループ順序整理を行う場合と行わない場合を比較することで、製作者のミスによりグループ間フィードバックが生じている問題の発見が可能であることを示した。

その結果、モジュラリティ値とグループ間フィードバックのバランスに応じて評価値が変化することで、その Simulink モデルのグループ分けの理解性を概ね表現できた。しかし、表現できているかの是非やグループ分けの良し悪しが依然としてユーザーの視点などに依存しているため、今後、工数との結びつきなどにより絶対評価を可能としていく。

参考文献

[中村 2014] 中村光宏, 木野本玲子, 中嶋久彰, 濱上知樹, “有向グラフ分析によるソフトウェア保守性評価の試み” 情報処理学会研究報告. ソフトウェア工学研究会報告, SE, 182, No. 7, pp.1-6 (2013).

[Ramos-Hernandez 2005] D. N. Ramos-Hernandez, P. J. Fleming, J. M. Bass, “A novel objected-environment for distributed process control system ” *Control Engineering Practice* 13, pp.213-230 (2005).

[Farkas 2009] T. Farkas, E. Meiseki, C. Neumann, K. Okano, A. Hinnerichs, S. Kamiya, “Integration of UML with Simulink into embedded software engineering ” *ICCAS-SICE* 10982288, pp.474-479 Aug. (2009).

[Brisolara 2005] L. Brisolara, L. Becker, L. Carro, F. Wagner, C. E. Pereira, R. Reis, “Comparing High-level Modeling Approaches for Embedded System Design ” *ASPAC* 8471640, pp.986-989 (2005).

[小澤 2013] 小澤貴之, 鷲崎弘宜, 深澤良彰, “Simulink モデルの保守性向上に向けたクラスタリングおよび UML モデルとの双方向変換に関する研究 (文書とモデリング)” 電子情報通信学会技術研究報告. SS, 112, No. 373, pp.49-53 (2013).

[鈴木 2014] 鈴木雄也, 小林隆志, 久保孝行, “サブシステムの凝集度に着目した Simulink モデルの設計品質メトリクス (ソフトウェアサイエンス)” 電子情報通信学会技術研究報告. SS, 113, No. 489, pp.79-84 (2014).

[Newman 2004] E. J. Newman, “Fast algorithm for detecting community structure in networks ” *Physical Review E* 69, 066133 (2004).

[Steward 1981] D. V. Steward, “The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems” *IEEE Transactions on Engineering Management* S, 28, No. 3, pp.71-74 (1981).

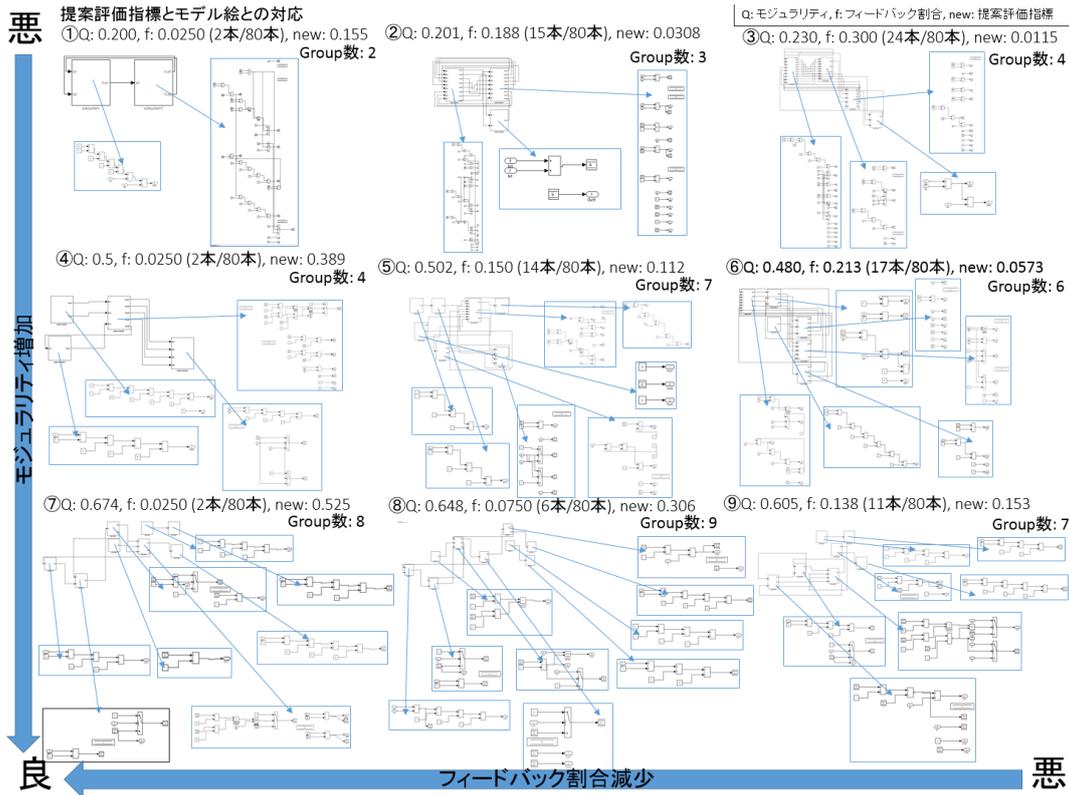


図 7: 提案評価指標値に対応するグループ分け (Simulink モデル)

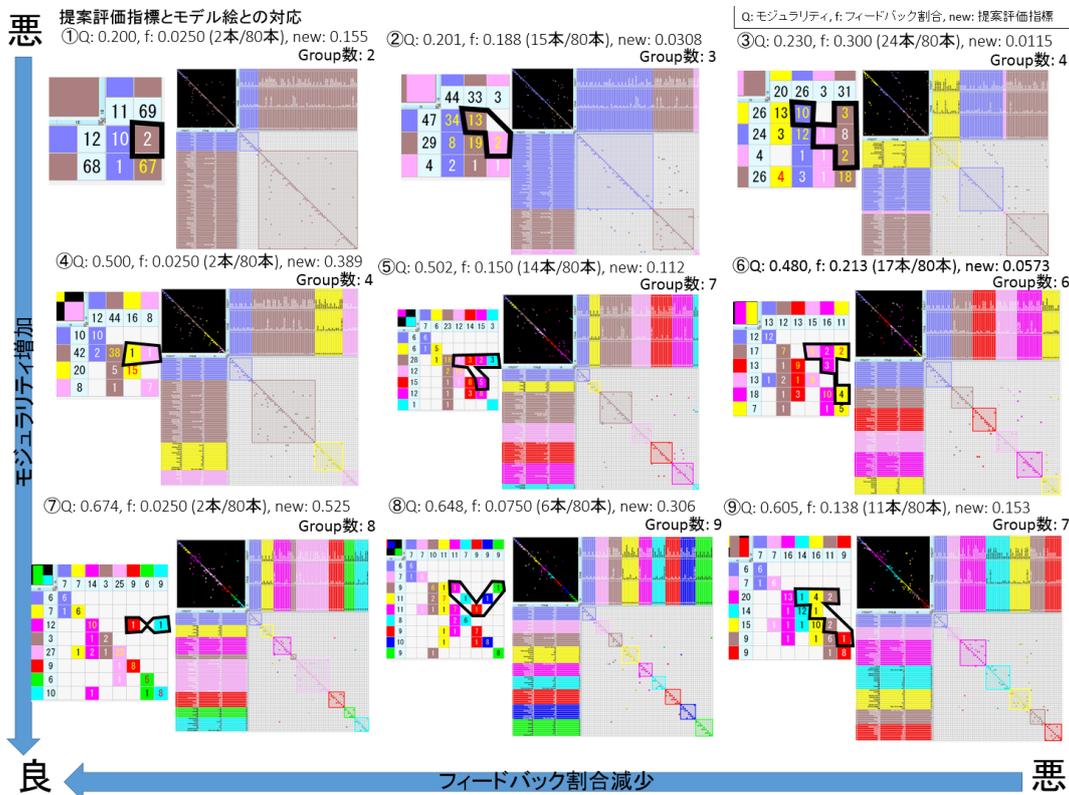


図 8: 提案評価指標値に対応するグループ分け (DSM)