

# プロパティに基づく自動車組込み 協調制御アーキテクチャ設計方法の提案と評価

田邊 隼希<sup>†</sup> 中道 上<sup>‡</sup> 青山 幹雄<sup>‡</sup>

南山大学大学院 数理情報研究科<sup>†</sup> 南山大学 情報理工学部 ソフトウェア工学科<sup>‡</sup>

## 1. 研究の背景と課題

近年、自動車組込みソフトウェアでは複数の ECU (Electric Control Unit)間でネットワークを介した協調制御が必要となっている。しかし、ECU 間の相互作用が複雑なため、協調制御の設計は困難である。

本稿では、自動車や環境の特性を表すプロパティに基づく協調制御アーキテクチャ設計方法を提案する。プロパティにより自動車全体の振舞いをモデル化し、機能の協調と競合の特定と設計が可能となる。

## 2. プロパティに基づく振舞いモデル

プロパティをユーザ、自動車、周辺環境の特性と状態と定義する。プロパティにより、自動車だけでなくユーザ、周辺環境を含めたモデル化が可能となる。

### 2.1. プロパティの分類

ユーザ、自動車、周辺環境に着目して、プロパティを分類する。

- (1) ユーザプロパティ：ユーザの特性と状態を示す。ユーザプロパティはユーザ要求を含む。
- (2) 自動車プロパティ：自動車の特性と状態を示し、自動車が制御可能なプロパティである。
- (3) 環境プロパティ：走行中の周辺環境の特性と状態を示し、自動車が制御不可能なプロパティである。

### 2.2. プロパティのモデル化

2.1 節で分類したプロパティを用いて協調制御を設計するために、自動車全体の振舞いを以下の 4 つのモデルで表現する。

- (1) 依存関係モデル：プロパティ間の複雑な依存関係をクラス図と拡張 DSM (Design Structure Matrix) で表現する。拡張 DSM は DSM[1][3]を拡張し、プロパティ間の依存関係に加え、プロパティと非機能要求間の依存関係を表現可能な DSM である。拡張 DSM により非機能要求を含む設計が可能となる。
- (2) 階層構造モデル：非機能要求やプロパティを階層的にモデル化する。階層構造モデルを用いて依存関係モデルを階層構造化する。
- (3) 振舞い設計表：機能のプロパティへの影響とプロパティの機能への影響を表現する。
- (4) 振舞いモデル：自動車全体の振舞いを依存関係

Architecture Design Methodology for Automotive Embedded Cooperative Software Systems Based on the Properties.

<sup>†</sup>Hayaki Tanabe, Graduate School of Mathematical Sciences and Information Engineering, Nanzan University.

<sup>‡</sup>Noboru Nakamichi, Mikio Aoyama, Department of Software Engineering, Nanzan University.

モデル、振舞い設計表を組み合わせることでモデル化する。

## 3. 協調制御アーキテクチャ設計プロセス

協調制御アーキテクチャ設計プロセスを示す(図 1)。

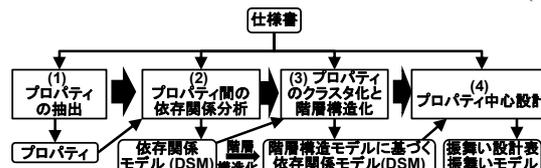


図 1 協調制御アーキテクチャ設計プロセス

(1) プロパティの抽出：センサの検出値やシステムの制御則を、仕様書や走行中の周辺環境を考慮して抽出し、プロパティとする。

(2) プロパティ間の依存関係分析：仕様書よりプロパティ間の依存関係を抽出し、依存関係モデルを作成する。モデルより、プロパティの変化が他のプロパティに与える影響を分析する。また、仕様書より自動車の非機能要求を抽出してモデル化し、プロパティがどの非機能要求に影響するか分析する。

(3) プロパティのクラスタ化と階層構造化：プロパティには、ブレーキ制御といった自動車の振舞いに着目するとモジュール化できるものがある。複数のプロパティをモジュール化してまとめ、依存関係モデルに適用する。DSM ツール[2]によるクラスタリングで、依存度の強いプロパティ、非機能要求をまとめてクラスタとする。その結果、クラスタの中にさらにクラスタが存在する場合は、クラスタ間の関係に基づきプロパティの階層構造を決定する。

(4) プロパティ中心設計：機能のプロパティへの影響と、プロパティの機能への影響を仕様書より分析し、振舞い設計表を作成する。振舞い設計表と依存関係モデルを組み合わせることで機能の協調とその競合を特定し、振舞いモデルを作成する。振舞いモデルに基づき、協調制御アーキテクチャを設計する。

## 4. 提案設計方法の適用

### 4.1. 自動車への適用

3 章のプロセスに基づき、提案設計方法を車両運動統合制御システム[4]に適用した。

### 4.2. プロパティの抽出

仕様書より 68 個のプロパティを抽出した。抽出したプロパティを 2.1 節に基づき分類した。

- (1) ユーザプロパティ：アクセルペダル開度など 5 個。
- (2) 自動車プロパティ：ヨーレート, 右加速度, FL (Front-Left)車輪速など 61 個。

(3) 環境プロパティ: 現在地, 路面摩擦係数の2個.

### 4.3. プロパティの依存関係分析

仕様書に基づき, 抽出したプロパティ間の依存関係を分析した. また, 車両運動統合制御システムの非機能要求を抽出し, プロパティとの依存関係を依存関係モデルの拡張 DSM で表現した(表 1).

表 1 作成した依存関係モデル(一部抜粋)



### 4.4. プロパティのクラスタ化と階層構造化

ブレーキ制御, エンジン制御, サスペンション制御, ステアリング制御, 車速に着目してプロパティをモジュール化した. DSM ツールを拡張 DSM に適用し, 依存度の高いプロパティをクラスタとしてまとめた. その結果, Cluster1 はブレーキ制御, エンジン制御, 車速を含み, Cluster2 は Cluster1 と非機能要求の安定化モーメントを含むクラスタとなった. クラスタ間の関係に基づき, プロパティを階層構造化した(図 2).

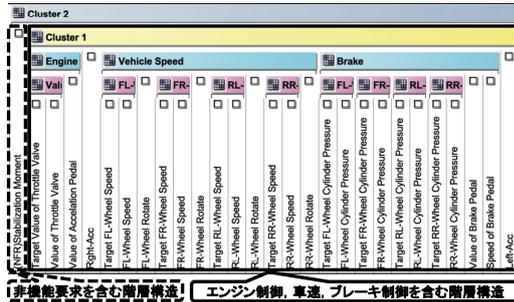


図 2 プロパティのクラスタ化と階層構造化(一部抜粋)

### 4.5. プロパティ中心設計

仕様書から, ABS(Antilock Brake System)を中心に 14 個の機能を抽出した. 機能とプロパティ間の依存関係を分析し, 機能と非機能要求を対応付けて振舞い設計表を作成した. 振舞い設計表と依存関係モデルを組み合わせ, 振舞いモデルを作成した(図 3).

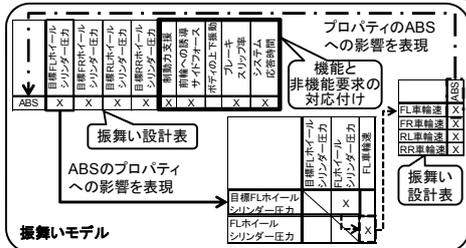


図 3 振舞いモデル

機能の実行結果はプロパティを介して, 他の機能や非機能要求に影響するので, プロパティの影響伝搬の順序をユースケースマップとして表現した. 振舞いモデルへユースケースマップを適用し, 機能と非機

能要求に影響するプロパティの順序を特定した(図 4). ホイールシリンダー圧力と目標ホイールシリンダー圧力のプロパティにおいて, ユースケースマップが重複することから, 非機能要求間の競合が発見できた.

また, 図 2 に着目するとエンジン制御, 車速とブレーキ制御が同一クラスタに存在する. このクラスタに対する機能設計により, 定速走行機能を追加できる.

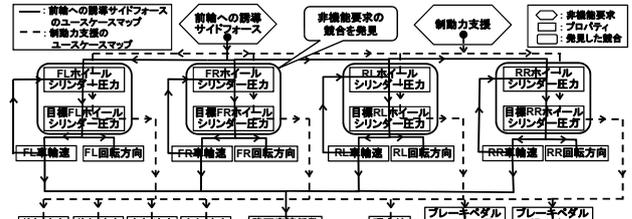


図 4 ユースケースマップによる競合の発見

## 5. 提案設計方法の評価と考察

提案設計方法をプロパティのモデル化とプロパティ中心設計の2つの観点で評価する.

### 5.1. プロパティのモデル化

従来 DSM では, プロパティ間の依存関係のみを表現可能であるが, 本稿で提案する拡張 DSM はプロパティ間の依存関係に加え, 非機能要求とプロパティ間の依存関係も表現できる. そのため自動車, ユーザ, 周辺環境だけでなく, 非機能要求を含む自動車全体の振舞いのモデル化が可能となる. また, 拡張 DSM によりプロパティや非機能要求間の複雑な依存関係を表形式で明確に表現できる.

### 5.2. プロパティ中心設計

提案する拡張 DSM は振舞いを局所化できる. 拡張 DSM のクラスタ毎に機能を設計し, 協調制御を段階的に設計できる. 段階的に設計した協調制御の組み合わせにより自動車全体の協調制御を実現できる.

さらに, 提案設計方法ではプロパティを介して機能間, 非機能要求間の競合を発見できる. そのため, 競合を回避する協調制御の設計が可能となる.

## 6. まとめ

非機能要求を含む, 自動車全体の複雑な振舞いをプロパティに基づき, モデル化し表現した. 提案設計方法により, 競合を回避した協調制御の段階的な設計が可能となる. 提案設計方法を車両運動統合制御システムに適用し, 評価した.

## 参考文献

[1] C. Y. Baldwin, K. B. Clark, Design Rules: The Power of Modularity, MIT Press, 2000.  
 [2] Cambridge Advanced Modeller (CAM), <http://www-edc.eng.cam.ac.uk/cam/>  
 [3] O. Larses, Applying Quantitative Methods for Architecture Design of Embedded Automotive Systems, Proc. INCOSE 2005, Jul. 2005.  
 [4] トヨタ自動車, CROWN MAJESTA 新型車解説書 URS206 / UZS207, 2009.