

プロパティに基づく自動車組込み 協調制御ソフトウェアアーキテクチャ設計方法の提案

M2009MM026 田邊 隼希

指導教員 青山 幹雄

1. はじめに

近年、自動車組込みソフトウェアでは ECU(Electronic Control Unit)間のネットワークを介した協調制御が必要である[1]が、相互作用が複雑で協調制御設計が困難である。

本稿では、プロパティに基づく自動車組込みソフトウェアの協調制御アーキテクチャ設計方法を提案する。プロパティに着目して自動車全体の振舞いをモデル化し、自動車全体の協調制御設計を容易とする。

2. 自動車組込みソフトウェアの課題

(1) 機能分散による設計の複雑化

自動車組込みソフトウェアの振舞いへの影響が複雑なため、機能競合が発生する。さらに、設計では非機能要求が重要で協調制御全体で非機能要求を満たす必要があるが、協調制御の非機能要求への影響の特定は困難である。

(2) 自動車共通ソフトウェアアーキテクチャが未確立

センサやアクチュエータの構成は車種で異なり、車種毎のアーキテクチャ設計が必要となる。構成の多様性に対応する自動車共通ソフトウェアアーキテクチャが必要である。

3. 関連研究

自動車組込みソフトウェアで車種や開発組織に非依存なアーキテクチャフレームワークが着目すべき観点が提案されている[2]。しかし、具体的な設計方法は未提案である。

また、DSM(Design Structure Matrix)による自動車組込みソフトウェアのアーキテクチャ設計と評価が提案されている[4]。DSM の類似度の高い要素をまとめてモジュール化することでモジュール内の依存関係を隠蔽し、簡略化できる。

4. プロパティ中心アーキテクチャ設計方法

プロパティを自動車、周辺環境、ユーザの特性とその状態と定義し、振舞いをプロパティの変化と定義する。また、プロパティと他のプロパティや、プロパティと非機能要求の関連を依存関係と定義する。プロパティに着目することで自動車の振舞いに加え、周辺環境とユーザの振舞いも含むモデル化が可能となる。プロパティに基づく協調制御設計をプロパティ中心設計と呼び、プロパティを制御する機能をサービスと定義する。複数サービスが、あるプロパティの一貫性を損なう変更を行うことをサービス競合と定義する。

4.1. 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(図 1)。

(1) ユーザプロパティ: ユーザの特性とその状態を示す。ユーザ要求はユーザプロパティで表現される。サービスはユーザプロパティに基づく制御を行う。

(2) 自動車プロパティ: 自動車の特性とその状態を示し、アクチュエータによりサービスが制御可能である。目標値と現在値の 2 つの属性を持ち、サービスは現在値が目標値となるようにアクチュエータを制御する。自動車プロパティは制御するアクチュエータの特性から、さらに分類できる。

(2-a) 走行プロパティ: 走行に関するプロパティである。

(2-b) 快適プロパティ: 快適環境に関するプロパティである。

(2-c) インフォテイメントプロパティ: インフォテイメントに関するプロパティである。

(3) 環境プロパティ: 周辺環境の特性とその状態を示し、サービスが制御不可能である。室温のようにセンサで測定可能なものと、路面状況のように測定不可能なものがある。

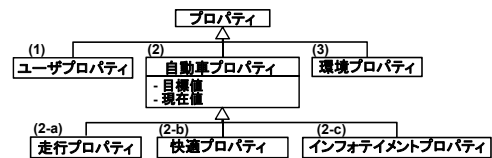


図 1 プロパティの分類

4.2. プロパティのモデル化

車種毎にセンサやアクチュエータの構成が異なるため、これらの情報を表現するプロパティの種類や特性が異なる。自動車の振舞いはサービスや周辺環境、ユーザから影響を受けるため、複雑となる。プロパティを以下のモデルで表現して、プロパティの多様性と複雑な振舞いに対応する。プロパティを表現するモデルのメタモデルを図 2 に示す。

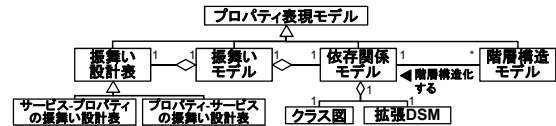


図 2 プロパティ表現のメタモデル

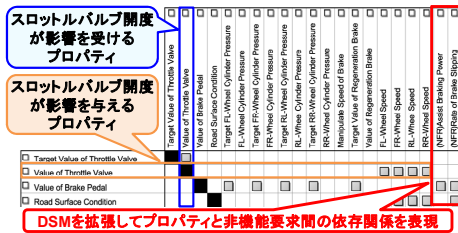
(1) 依存関係モデル

プロパティ間の依存関係は複雑で、更にプロパティと非機能要求間の依存関係も存在する。依存関係モデルは 2 つのモデルでこれらの依存関係と構造を表現する。

1) クラス図: プロパティや非機能要求の依存関係を示す。

2) 拡張 DSM: 非機能要求はサービス実行により満たされる。サービス実行はプロパティに影響し、プロパティを介して非機能要求にも影響する。更にサービス実行によるプロパティの変化は他のプロパティにも伝搬し、非機能要求への影響の特定が困難となる。プロパティの影響伝搬とプロパティの非機能要求への影響を表現するモデルが必要である。DSM を拡張し、プロパティ間とプロパティと非機能要求間の依存関係を表現可能な拡張 DSM を提案する(表 1)。

表 1 依存関係モデルの拡張 DSM



(2) 階層構造モデル: プロパティを階層的にモデル化して、センサやアクチュエータの構成の違いを抽象化してモデルを共通化する。汎化関係と、集約関係が存在する(図 3)。

- 1) 汎化関係: 同じ種類のアクチュエータから抽出したプロパティが階層構造化された場合、下位のプロパティは上位のプロパティの具体化と考えられるため、汎化関係とする。
- 2) 集約関係: 異なるアクチュエータやサービスの制御則から抽出したプロパティが階層構造化される場合、上位のプロパティは下位のプロパティにより構成されると考えられるため、集約関係とする。

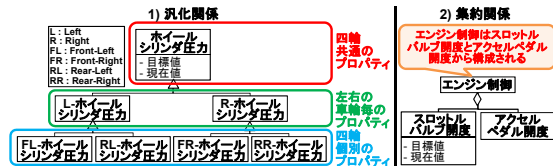


図 3 階層構造モデル

(3) 振舞い設計表: サービスとプロパティ間の依存関係とサービスと非機能要求間の依存関係をサービスのリアルタイム性も含めてモデル化する。

(4) 振舞いモデル: 依存関係モデルと振舞い設計表を組み合わせ自動車全体の振舞いをモデル化する(図 4)。サービスのプロパティへの直接的影響と間接的影響を表現する。



図 4 振舞いモデル

4.3. プロパティとサービスの相互作用分析

プロパティとサービスの相互作用を分析して、4 つのパターンに分類した(表 2)。

- (1) プロパティ-プロパティの相互作用: あるプロパティが異なるプロパティに影響する。
- (2) プロパティ-サービスの相互作用: プロパティがサービス

に影響する。特に、単一プロパティが複数サービスに影響すると、複数サービスが同時起動する可能性がある。

(3) サービス-プロパティの相互作用: サービスがプロパティに影響する。特に、複数サービスが単一プロパティに影響すると、サービス競合の可能性がある。

(4) サービス-サービスの相互作用: 本稿では、サービス間の相互作用はプロパティを介して間接的に行われると考え、サービス間の直接的な相互作用は考慮しない。

表 2 プロパティとサービスの相互作用パターン

	プロパティ	サービス
プロパティ	(1) プロパティ間の相互作用がある	(2) プロパティ-サービス間の相互作用がある
サービス	(3) サービス-プロパティ間の相互作用がある	(4) 考慮しない

5. 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の設計プロセスを図 5 に示す。

(1) プロパティの抽出

プロパティを仕様書のセンサ検出値やサービスの制御則から抽出し、4.1 に基づき分類する。センサで検出できないプロパティは走行中の周辺環境を考慮して抽出する。

(2) プロパティと非機能要求の依存関係分析

仕様書より非機能要求を抽出してモデル化する。プロパティ間とプロパティと非機能要求間の依存関係を分析して依存関係モデルを作成する。

(3) プロパティのクラスタ化と階層構造化

振舞いに着目してプロパティをモジュール化することで、振舞いを考慮したプロパティのクラスタ化と階層構造化が可能となる。さらに、センサに着目しプロパティをモジュール化する。例えば車輪速センサは車速を検出する。車輪速センサから車輪速と回転方向が抽出されるため、車速は 2 つのプロパティから構成されると考えモジュール化する。

モジュール化したプロパティを依存関係モデルに適用して、DSM ツール[3]によるクラスタリングを行い、類似度の高いプロパティや非機能要求をまとめてクラスタとする。クラスタの中にさらにクラスタが存在する場合はプロパティの階層構造と決定し、階層構造モデルを作成する。

(4) プロパティ中心設計

1) 自動車全体の振舞いのモデル化

サービスとプロパティ間の影響とサービスの非機能要求への影響を仕様書より分析して、振舞い設計表を作成し、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する。振舞いモデルは自動車全体の振舞いを表現し、協調制御の振舞いへの影響を分析可能である。そのため、自動車全体の協調制御設計が可能となる。

2) プロパティを介した競合発見

振舞いモデルへユースケースマップを適用し、プロパティ間の影響伝搬を表現してサービス競合と非機能要求の競合の可能性を発見する。プロパティで複数サービスのユー

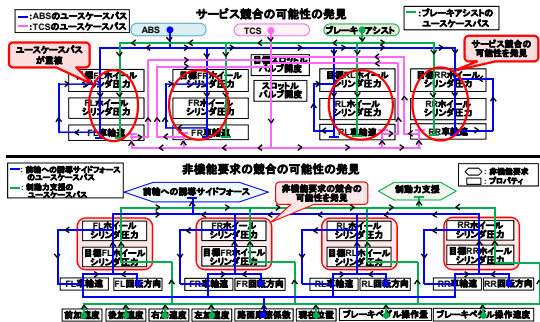


図 8 ユースケースパスによる競合の可能性の発見

6.5. 提案設計方法の評価

(1) プロパティのモデル化

提案設計方法では、プロパティを4種類のモデルで表現した。振舞いはプロパティの変化として表現されるため、自動車に加え周辺環境、ユーザを含む振舞いのモデル化が可能となる。

(2) 機能(サービス)実行の振舞いへの影響分析

従来の設計方法では機能に着目するため、機能間の影響の特定は容易である。しかし、機能が分散して個別制御するため、機能と振舞いの間の影響の特定が困難であった。提案設計方法では、振舞いをモデル化してプロパティ間の依存関係やサービスとプロパティ間の依存関係を表現した。そのため、プロパティ間の影響、サービスとプロパティ間の影響の特定が容易となる。

(3) 機能(サービス)実行の非機能要求への影響分析

自動車の協調制御は分散した機能のネットワークを介した協調により実現される。従来の設計方法では機能に着目するため、協調制御が影響する非機能要求の特定が困難であった。提案設計方法では振舞いモデルによりプロパティと非機能要求間の影響を表現し、サービスが変化させたプロパティが影響する非機能要求を特定できる。非機能要求を満たすためにどのサービスを実行すべきか分析できるため、非機能要求を満たす協調制御設計が容易となる。

(4) 競合の発見

従来の設計方法では機能に着目するため、分散する機能が個別に制御を行う場合の機能競合や非機能要求の競合の発見が困難だった。提案設計方法はサービスに影響するプロパティと、非機能要求に影響するプロパティをユースケースパスで表現する。ユースケースパスの重複により、そのユースケースパスを持つサービス間の競合の可能性、あるいは非機能要求間の競合の可能性を特定できる。

7. 考察

(1) 提案設計方法に対する考察

提案設計方法ではクラスタリングによりプロパティを階層構造化する。クラスタ毎のサービス設計により協調制御の段階的な設計が可能となる。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。

(2) 関連研究との比較に基づく考察

a) 自動車共通のアーキテクチャフレームワークとの比較

文献[2]の自動車共通のアーキテクチャフレームワーク(dAF)が着目すべき5つの観点から提案設計方法を考察する(表6)。提案設計方法は1)~4)までの観点を表現する。

5)はステークホルダに対する観点のため、協調制御設計では考慮しない。以上より提案設計方法に基づくアーキテクチャは自動車共通の協調制御アーキテクチャである。

表 6 5つの観点からの提案設計方法の考察

dAFの観点	提案設計方法
1) 機能	プロパティを介して、サービス間の相互作用を表現
2) 物理	物理コンポーネントを抽象化したプロパティの構成や関連は表現したが、物理コンポーネントの構成や関連は表現していない
3) データ	自動車の振舞いを表現する情報を表現したが、ECU間の通信プロトコルは表現していない
4) ドライバと環境	自動車とユーザ、自動車と周辺環境との相互作用を表現
5) ステークホルダ	提案設計方法では表現していない

b) DSMとの比較

自動車組込みソフトウェアでは非機能要求を満たす設計が必要である。DSMはプロパティ間の依存関係を表現できるが、プロパティの非機能要求への影響を表現できない。

拡張DSMはDSMの列を拡張して非機能要求を表現し、プロパティの影響伝搬に加え、プロパティの非機能要求への影響を表現できる。

8. 今後の課題

サービス競合や非機能要求の競合の可能性を回避する方法を確立する必要がある。これにより、競合を回避した協調制御設計が可能となる。さらに、アーキテクチャの実装を行い、提案設計方法の有効性を評価する必要がある。

9. まとめ

プロパティに基づく自動車組込み協調制御ソフトウェアアーキテクチャ設計方法を提案した。プロパティにより自動車全体の振舞いをモデル化して、プロパティと非機能要求間の依存関係を表現し、非機能要求を満たす協調制御設計を可能にした。提案設計方法をVDMに適用し、評価した。

参考文献

[1] 青山 幹雄 他, 車載ソフトウェアのサービスプラットフォームのモデルとアーキテクチャ, 自動車技術会論文誌, Vol. 40, No. 6, Dec. 2008, pp. 1599 - 1604.
 [2] M. Broy, et al., Toward a Holistic and Standardized Automotive Architecture Description, Computer, Vol. 42, No. 12, Dec. 2009, pp. 98 - 101.
 [3] Cambridge Advanced Modeller (CAM), <http://www-edc.eng.cam.ac.uk/cam/>
 [4] O. Larses, Applying Quantitative Methods for Architecture Design of Embedded Automotive Systems, Proc. INCOSE 2005, July. 2005.
 [5] トヨタ自動車, CROWN MAJESTA 新型車解説書 URS206 / UZS207, Mar. 2009.