

エンジン制御ソフトウェアのアーキテクチャの構築

2003MT080 大江 麻知衣

指導教員 野呂 昌満

2003MT020 本間 翔大

2003MT074 中島 美和

2003MT092 佐藤 雅大

指導教員 張 漢明

1 はじめに

自動車制御ソフトウェアは燃費の向上や故障時の対応が求められる。エンジン制御ソフトウェアは各種センサの故障に備えた処理と燃料計算がソフトウェア全体に散在する処理となり、ソフトウェアの構造を複雑にする。ソフトウェア全体に散在する処理を分離する技術として、アスペクト指向技術 [1] が注目されている。

本研究室では、組込みソフトウェアのアスペクト指向ソフトウェアアーキテクチャスタイル (以下, E-AOSAS++) を提案してきた。E-AOSAS++ では、組込みソフトウェアアーキテクチャは並行に動作する複数の並行状態遷移機械 (以下, CSTM) であるとしている。CSTM は並行処理, 状態遷移, コアの3つのアスペクトで構成される。

本研究の目的は組込みソフトウェアのアーキテクチャの構築手順を提案し、有用性を議論するとともに、エンジン制御ソフトウェアのアーキテクチャの構造を整理することである。E-AOSAS++ は構成を切替えるコンフィギュレーションコントロール (CC) があり、構造を整理できる。エンジン制御ソフトウェアのアーキテクチャの構造を整理する目的でアスペクト指向と E-AOSAS++ を適用する。

本研究は、以下のように進める。

1. エンジン制御ソフトウェアにおけるオブジェクト指向実現
2. エンジン制御ソフトウェアにおけるアスペクト指向技術と E-AOSAS++ の適用
3. 構築したエンジン制御ソフトウェアの考察

2 組込みソフトウェアのアスペクト指向ソフトウェアアーキテクチャスタイル (E-AOSAS++)

E-AOSAS++ は組込みソフトウェアのアーキテクチャを、並行に動作する CSTM の集合であるとしている。E-AOSAS++ は、本研究室で組込みソフトウェアのアーキテクチャを構築してきた経験から提案されている。

2.1 並行状態遷移機械

CSTM を図 1 に示す。

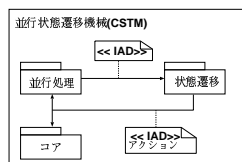


図 1 並行状態遷移機械

CSTM は以下のアスペクトとアスペクト間記述によって構成される。

- 並行処理アスペクト
状態遷移機械を並行に動作させる処理
- 状態遷移アスペクト
状態遷移機械の状態の遷移に関する処理
- コアアスペクト
アプリケーションロジックを含む主要コンサーンを実現するオブジェクト群
- アスペクト間記述 (IAD)
アスペクトの間の関連を記述するもの

複数の CSTM はたがいにメッセージを送り協調動作する。

2.2 コンフィギュレーションコントロール

E-AOSAS++ では組込みソフトウェアは CSTM の CC で記述している。CC の構造を図 2 に示す。

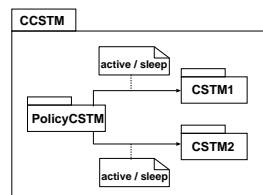


図 2 コンフィギュレーションコントロール

複合並行状態遷移機械 (以下, CCSTM) は PolicyCSTM と複数のコンフィギュレーション CSTM で構成される。CCSTM にイベントが通知されると PolicyCSTM と各コンフィギュレーション CSTM に同時にイベントが通知される。各コンフィギュレーションには活性状態と待機状態がある。待機状態時にイベントが通知された場合、イベントは破棄される。PolicyCSTM は各コンフィギュレーションを活性状態・待機状態を管理する。

3 エンジンの分析

エンジン制御にはエンジンの点火時期や、アイドル回転数などの制御が必要となる。本研究ではエンジンの燃焼効率とフェイルセーフを取り上げる。

3.1 燃焼効率

自動車は常に、必要とされる出力を低燃費で発揮することが望まれる。燃料噴射量は各部品の結果に基づいて調整している。具体的な補正を図 3 に示す。

3.2 フェイルセーフ

自動車に故障が発生した場合は走行ができなくなるものから、故障の仕方によっては危険が生じるものもある。フェイルセーフの例として、あるセンサが故障した場合、あらかじめ定められた値を使用したり、燃料噴射を停止し、エンジンを停止させる仕組みがある。一例を図 4 に示す。

対象部品	補正内容
エンジン回転速度 スロットル開度	加減速を検出し調整
冷却水温	エンジンが冷えている場合 エンジン暖気中に加速する場合 ⇒増量
吸気温度	吸気温度が低い場合 ⇒増量 吸気温度が高い場合 ⇒減量
排気ガス中の酸素濃度	空燃比が理論空燃比より濃い場合 ⇒減量 空燃比が理論空燃比より薄い場合 ⇒増量

図3 燃料噴射補正

異常検出位置	異常発見条件	対処法
車速センサ	180km/h以上	燃料噴射停止
水温センサ 吸気温センサ	水温 140℃以上 吸気温 -80℃以下	水温 80℃ 吸気温 20℃
イグナイタ	3回連続で点火信号 が送られない	燃料噴射停止
クラック角センサ	2つのうち片方の 信号が消える	もう片方の値を 使って判別する
排気温センサ	1300℃以上	燃料噴射停止

図4 フェイルセーフ

4 エンジン制御ソフトウェアアーキテクチャの構築

エンジン制御ソフトウェアを、オブジェクト指向をもちいて実現した。シミュレータの実現には、一般的にオブジェクト指向言語として広くもちいられている Java[3] を使用した。ソフトウェア全体に散在する横断的な処理を発見し、アスペクト指向技術を適用した。CC が切替わる典型的な例としてフェイルセーフを取り上げ、E-AOSAS++ を適用した。

4.1 エンジン制御のソフトウェアのモデル

エンジン制御ソフトウェアをオブジェクト指向をもちいて、以下の手順に従い設計する。

1. ハードウェアの構造に着目したオブジェクト指向分析
2. エンジンハードウェアの構造を制御 ECU の関連と同定
3. 制御 ECU 部品がソフトウェアのオブジェクトになると考え、ハードウェアの関連からオブジェクト間の関係を抽出

エンジンハードウェアを対象としたオブジェクト指向分析

エンジンハードウェアの構造をクラス図をもちいて設計した。クラス図を図5に示す。ハードウェア同士の機械的なつながりを考慮し、構造を設計した。

Cylinder は Injector, Igniter を管理する構造になっている。さらに、ハードのつながりのあるものは関連で示した。

エンジンハードウェアと制御 ECU との関連

ハードウェアにセンサ類または、電子制御をおこなう必要があると考えた部分に対応する制御 ECU を追加した。ハードウェアのみの構造に、対応する制御 ECU を追加した構造をクラス図をもちいて図6に示す。

エンジンには空燃比や燃料噴射の調整がある。空燃比を制御する目的で、吸入空気量を必要とするので、Throt-

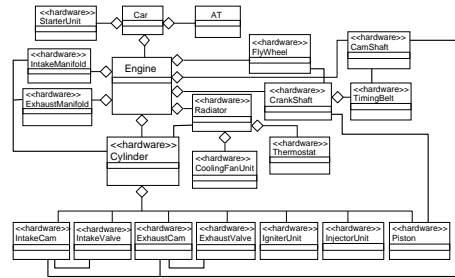


図5 エンジンハードウェア

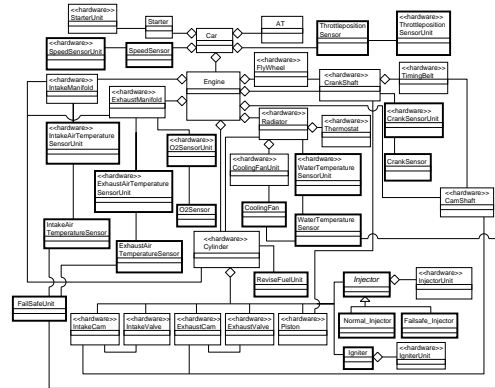


図6 エンジンハードウェアと制御 ECU

tlepositionSensor を追加した。また、燃料噴射制御においてエンジンの温度情報を必要とするので、WaterTemperatureSensor を冷却装置である Radiator に追加した。SpeedSensor をはじめとする他のセンサも追加した。

エンジン制御ソフトウェアの構造

制御 ECU 部分に着目し、ソフトウェアアーキテクチャを考えた。ハードウェアの関連をたどり抽出したエンジン制御ソフトウェアの構造をクラス図をもちいて図7に示す。

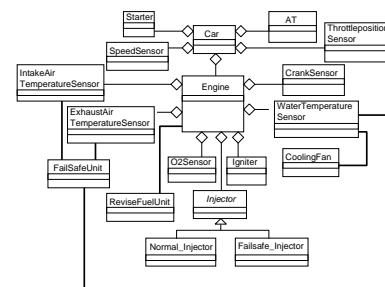


図7 エンジン制御ソフトウェアの構造

エンジン制御ソフトウェアの構造は、Engine が制御 ECU 部品を管理する構造となる。Engine は ECU 部品を協調動作させ、機能を実現する。ソフトウェアはハードウェアを介して他のソフトウェアにメッセージを送る。

動的挙動

エンジン制御ソフトウェアの動的挙動をエンジン四行程の燃料噴射行程を例に取り、シーケンス図を用いて図 8 に示す。

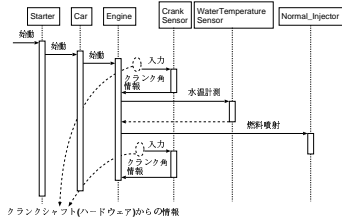


図 8 エンジン始動直後における燃料噴射時

燃料噴射の行程について説明する。クラックシャフトの回転をCrankSensorが感知し、Engineにメッセージを送る。メッセージを受けたEngineが水温計測をおこない、水温に異常が発見されなければInjectorに燃料噴射命令をおこなう。

4.2 横断コンサーン

実現したエンジン制御ソフトウェアにおいて、燃料噴射制御に関する処理が横断的に存在していることを確認した。エンジン制御ソフトウェアにおける典型的なコンサーンとして、燃料噴射制御とフェイルセーフがある。燃焼効率とフェイルセーフにおける部品関係を図 9 に示す。

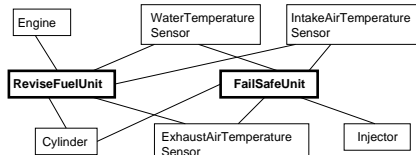


図 9 横断コンサーン

燃焼効率はシリンダや各センサ、フェイルセーフはインジェクタや各センサに横断的に関連している。例えばReviseFuelUnitはWaterTemperatureSensor、IntakeAirTemperatureSensorなどの各センサやEngineに関連する。また、FailSafeUnitはExhaustAirTemperatureSensorなどの各センサや、Injectorに関連する。

4.3 エンジン制御ソフトウェアにおけるアスペクト指向実現

非機能である燃焼効率、フェイルセーフをアスペクトとして分離する。

燃焼効率

アスペクト指向をもちいたエンジン制御ソフトウェアの燃焼効率アスペクトを分離した構造を図 10 に示す。

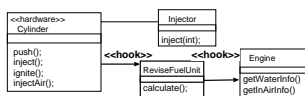


図 10 燃焼効率のクラス図

Cylinder と Engine に横断的に関連した ReviseFuelUnit を燃焼効率アスペクトとして分離した。

燃料噴射補正の動的挙動をシーケンス図を用いて図 11 に示す。

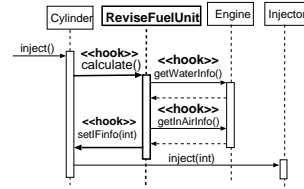


図 11 燃焼効率のシーケンス図

Cylinder の計算するメソッドと Engine から情報を取得するメソッドをアスペクト間記述で記述した。Cylinder の calculate メソッド、Engine の getWaterInfo メソッドと getInAirInfo メソッドをアスペクト間記述で記述した。

フェイルセーフ

アスペクト指向をもちいたエンジン制御ソフトウェアのフェイルセーフアスペクトを分離した構造を図 12 に示す。

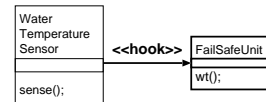


図 12 水温センサにおけるフェイルセーフのクラス図

FailSafeUnit はCylinder や、WaterTemperatureSensor などの様々なセンサと関連がある。横断的に関連した FailSafeUnit をフェイルセーフアスペクトとして分離した。

4.4 E-AOSAS++ の適用可能性

エンジン制御ソフトウェアにE-AOSAS++が適用可能か考える。インジェクタのフェイルセーフにCCを適用する。適用した図を図 13 に示す。

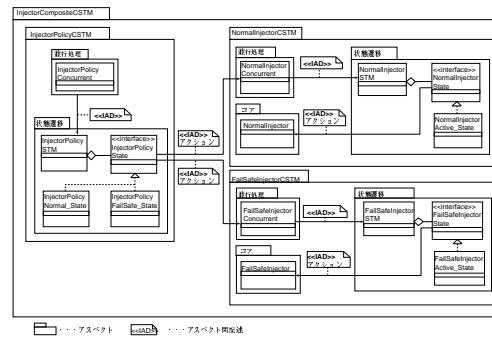


図 13 CC を適用したインジェクタ

インジェクタに関して CCSTM を実現した。各コンフィギュレーションにあたるのは、NormalInjectorCSTM と FailSafeInjectorCSTM である。各コンフィギュレ

ションを管理する InjectorPolicyCSTM を用意した。以上より、E-AOSAS++ の CC を適用できた。

5 考察

本研究の成果を以下の 3 つの観点から考察する。

- 組み込みソフトウェアのアーキテクチャの構築手順の妥当性
- アスペクト指向を適用した妥当性
- E-AOSAS++ を適用した妥当性

5.1 組み込みソフトウェアのアーキテクチャの構築手順の妥当性

オブジェクト指向をもちいた、組み込みソフトウェアのアーキテクチャの構築が妥当であるか考える。組み込みソフトウェアアーキテクチャにはソフトウェア同士のメッセージ通信とハードウェアを介したメッセージ通信がある。各メッセージ通信の詳細を図 14 に示す。

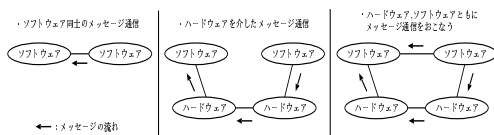


図 14 3 種類のメッセージ通信

提案した構築手順におけるメッセージ通信は、上記の 3 種類がある。ソフトウェア同士のメッセージ通信は、ソフトウェアは、直接他のソフトウェアへメッセージを送ることで実現できる。ハードウェアを介したメッセージ通信は、ソフトウェアがハードウェアを介して他のソフトウェアにメッセージを送るので、ソフトウェア同士のメッセージ通信ととらえる。ハードウェア、ソフトウェアともにメッセージ通信をおこなう場合は、ソフトウェア同士のメッセージ通信とハードウェアを介したメッセージ通信を組合せることで実現できる。本研究で取り扱った例として、ソフトウェア同士のメッセージ通信では、WaterTemperatureSensor と CoolingFan が挙げられる。ハードウェアを介したメッセージ通信では、O2Sensor と Engine が挙げられる。

5.2 アスペクト指向技術を適用した妥当性

水温センサにおけるフェイルセーフ発動時のシーケンス図の比較を図 15 に示す。

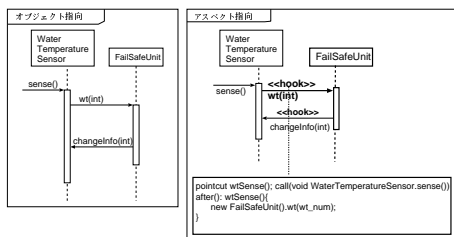


図 15 シーケンス図の比較

フェイルセーフの排気温補正、水温補正、および吸気温補正をおこなう FailSafeUnit をアスペクトとして分離

した。フェイルセーフの処理に変更があった場合はアスペクト間記述を変更するだけで良いので柔軟性が向上する。

5.3 E-AOSAS++ を適用した妥当性

E-AOSAS++ を適用したエンジン制御ソフトウェアの柔軟性について考える。インジェクタの CCSTM を図 16 に示す。

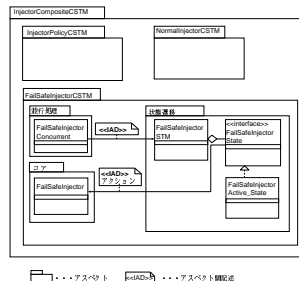


図 16 インジェクタの CCSTM

フェイルセーフのシステムの構成に変化があれば FailSafeInjectorCSTM を変更するだけで良いので柔軟性が高くなる。

6 おわりに

本研究では、オブジェクト指向でエンジン制御ソフトウェアのアーキテクチャを構築した。さらに、燃焼効率やフェイルセーフの処理をアスペクトとして分離し、アスペクト指向を取り入れエンジン制御ソフトウェアのアーキテクチャの構造を整理した。また、E-AOSAS++ を適用することで、エンジン制御ソフトウェアのアーキテクチャの柔軟性が向上することを確認した。

7 謝辞

本研究を進めるにあたり、二年間熱心に御指導をいただいた野呂昌満教授、張漢明助教、有益なアドバイスをいただいた蜂巢吉成講師、大学院生の坂野将秀さん、久松康倫さん、水野耕太さん、安江基規さん、太田将吾さん、西山遼平さん、安孫子正康さんに深く感謝いたします。また、二年間をともに励まし支え合い頑張ってきた野呂研究室一同、張研究室一同の方々にも感謝いたします。

参考文献

- [1] AspectJ, <http://eclipse.org/aspectj/>
- [2] 林田 洋一, カーエレクトロニクス, 大河出版, 1984
- [3] Java, <http://java.sun.com/>, Sept. 2006.
- [4] 西尾 兼光, エンジン制御用センサ, 山海堂, 1999
- [5] 瀬名 智和, クルマの新技术用語 エンジン・動力編, グランプリ出版, 1998
- [6] UML, <http://java.uml.org/>, Sept. 2006.
- [7] 全国自動車整備専門学校協会, ガソリン・エンジンの構造, 山海堂, 2005