



Title	Software Product Line Adoption Process for Legacy Embedded Control Systems
Author(s)	Yoshimura, Kentaro
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/506
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

【2】

氏 名	よしむら けんたろう
博士の専攻分野の名称	博士（情報科学）
学 位 記 番 号	第 23387 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 21 年 9 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当
	情報科学研究科情報システム工学専攻
学 位 論 文 名	Software Product Line Adoption Process for Legacy Embedded Control Systems (レガシー組込み制御システムへのソフトウェアプロダクトラインの導入に関する研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 菊野 亨 (副査) 教授 井上 克郎 教授 尾上 孝雄 教授 楠本 真二

論文内容の要旨

多機能化、多品種化を続ける組込みシステムにおいて、ソフトウェア開発効率化の重要性は年々高くなっています。多くの開発技術が提案されています。特に多品種製品向けの開発方法論として、ソフトウェアプロダクトライン（以下、SPL）が注目されています。

その一方で、例えば自動車向け等の組込み制御システムはセーフティ・クリティカル・システムであり、信頼性が極めて重視されます。そのため、実績のある既存製品に基づいて設計を最適化したいと言う要求が強い。すなわち、開発済みの製品バリエーションに基づいてSPLを導入することが望ましい。

そこで本論文の目的は、レガシー組込み制御システムへのSPL導入手法を確立することである。上記目的を達成するための課題、およびその課題を実現するための具体的な目標を以下に示す。

第一の課題は、既存システムへのSPL導入可否の判断である。既存システムへのSPL導入可否を判断するためには、製品における実装ソースコードを解析し、その共通性および可変性を評価することが有効である。

提案手法では、既存システム間の共通性を評価するために、異なるソフトウェア間でコードクローンによる解析を行う。また、共通性・可変性を評価するために、SPLの観点から見てコードクローンを4個のタイプに分類する。さらに、参照アーキテクチャを利用して階層的な分析を実施する。提案手法によって、実装されているソースコードに基づいて既存システム間の共通性・可変性を効率的に評価する事が出来る。

第二の課題は、組込み制御システムに適したソフトウェアの部品化手法である。可変性に基づいた効率的な再利用を実現するためには、ソフトウェアを部品として開発・再利用することが有効である。

本論文では、オブジェクト指向とコード自動生成という2つの技術を統合化した開発手法を提案する。提案する開発法の特徴は、制御モデルから自動生成したソフト部品をラッパでオブジェクト化するとともに、そのラッパを自動生成可能としたことである。これにより、制御モデルから自動生成した関数を効率良く部品化することが出来る。ま

た、本開発法を自動車用エンジン制御システムへ適用し、実現性を確認した。

第三の課題は、横断フィーチャの導入である。大規模な組込みシステムには可変フィーチャ数を削減する横断フィーチャの導入が有効となる。しかしながら、仕様分析に長期間を要すること、そして分析結果の妥当性を定量的評価に評価する手法が存在しないことが課題となっている。

本論文では、既存システムにソフトウェアプロダクトラインを導入するための、論理的結合集合に基づく横断フィーチャ分析法を提案する。提案手法では製品リリース履歴におけるソフトウェア部品間の論理的結合集合に基づいて横断フィーチャ候補を抽出する。さらに本手法では、評価用メトリックスとして精度と再現度を定義することにより、横断フィーチャ候補を自動的かつ定量的に評価できる。

論文審査の結果の要旨

近年、多品種製品向けのソフトウェア開発・再利用技術としてソフトウェアプロダクトライン（SPL）が体系化され、組込みシステムへの適用が進んでいる。特に、自動車制御システム等のセーフティ・クリティカル・システムでは信頼性が極めて重視されるため、実績のある既存システムに基づいて設計を最適化したいと言う要求が強い。本論文では、セーフティ・クリティカル・システムの分野を想定して、既存のレガシー組込み制御システムにSPLを導入することの妥当性を判断する手法の確立を目的とする。そのために具体的には次の3つの研究課題の解決を行う。

(4) 既存組込みシステムへのSPLの導入の妥当性を判断する基準の導出

既存組込みシステムにSPLを導入することが妥当であるかどうかを判断するために、実装されているソースコードを解析して、製品間で共通して使用される部分（共通性）と製品毎にカスタマイズされる可変部分（可変性）の割合を評価する。具体的には、コードクローン解析を適用し、新たに導入したクローンカバレッジと呼ぶメトリックスの値が20%を越えるかどうかで妥当性の可否を判断する。現実のエンジン制御用システムの開発に適用した結果、SPLを導入すべきであるとの結論を導くことが出来た。

(5) 組込み制御システムに適したソフトウェアの部品化技術の開発

(1) で妥当であると判断されたSPLの導入では、ソフトウェア部品の再利用が実行される。その再利用のためにはソフトウェアの部品化が前提となる。ここではオブジェクト指向とコード自動生成の融合に挑戦している。提案手法は制御モデル上でシミュレーションと妥当性確認を実行した後、ラッパでコードの自動生成を行う、と言った特徴を持っている。エンジン制御システムの一部の機能に適用した結果、95%の自動生成率を達成することに成功している。なお、本手法は既に実製品の開発にも導入済みである。

(6) 大規模な組込みシステムのための可変フィーチャ数の削減

大規模な組込みシステムでは可変部分（ソフトウェア部品）に対応する特性（可変フィーチャ）が数千にもなることが問題となっている。そこで複数の可変フィーチャに共通に存在する特性を横断フィーチャとして抽出して、それをSPLの効率化に利用する開発技法が注目されている。ここでは製品リリース履歴上の隣接するリリース間で同時に変更された部品の集合（論理的結合集合）を求め、同時に変更された頻度がある閾値を越えるかどうかに注目して、その集合から横断フィーチャを決定する。エンジン制御用ソフトウェアの一部に適用した結果、現場の技術者も納得する6個の横断フィーチャを導出することに成功している。

よって、本論文を博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。