

コンテキスト指向プログラミングの組込みソフトウェアへの適用に関する研究

谷川, 郁太

<https://doi.org/10.15017/4060187>

出版情報：九州大学, 2019, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：



氏 名 : 谷川 郁太

論 文 名 : コンテキスト指向プログラミングの組込みソフトウェアへの適用に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、コンテキスト指向プログラミング (Context-Oriented Programming: COP) を組込みソフトウェアへ適用する際の課題を明らかにし、それらの課題を解決するための研究に取り組む。本研究の目的は、COPを組込みシステムに適用可能にすることによって、Internet of Things(IoT)のような、近年の組込みソフトウェア開発に貢献することである。

COPはコンテキストに依存する横断的関心事をモジュール化し、実行時の状況に応じてそれらを有効化・無効化することで、現在のコンテキストに動的に適応することを可能とするプログラミング技術である。ここでいうコンテキストとは、システムを取り巻く外部環境やシステムの内部状態、あるいはそれらの変化の順序である。このような特徴から、COPはIoTで求められるような、コンテキストウェアな組込みソフトウェアの開発に役立つことが期待できる。

COPの組込みソフトウェアへの適用の課題は、省メモリやリアルタイム性の確保といった、組込みソフトウェアにとって重要な要求を満たせない可能性があることである。COP適用の問題として、次の三つが挙げられる。

- (i) COP機構によるメモリ消費量やプログラム実行時間の増加
- (ii) COPを利用可能なプログラミング言語が組込みシステム用プロセッサでサポートされていない可能性
- (iii) COPのレイヤアクティベーション時のリアルタイム性確保が困難

問題(i)は、COPアプリケーションには、COP言語が提供する機能を実現するための機構が必要となり、その分だけプログラムサイズや実行時のメモリ消費量が増加すること、また、COPにおける振る舞い変更は、現在のコンテキストに応じたメソッドディスパッチによって実現されるため、その際のCOP機構による介入によって、プログラムの実行時間が増加することである。

問題(ii)は、既存のCOP言語はJavaやSmalltalkなど組込みソフトウェア向けでない言語を拡張したものが中心であるが、組込みシステム用のプロセッサがサポートする言語はCまたは、C++のみであることが多いため、既存のCOP言語の多くは、組込みシステム用プロセッサ上で動かせない場合があることである。

問題(iii)は、組込みソフトウェアの機械制御における非正常系処理のような重要なものをCOPで実現する場合、事故の発生や製品の故障を防ぐために、非正常系処理の変更要求から振る舞い実行までの応答時間がかかることである。非正常系の処理の変更に時間がかかる要因としては、他の正常系の変更が終了するのを待つ場合があることから、重要な振る舞い変更を優先して実行する仕組みが必要である。

これらの問題については、以下の方法によって解決する。

- (a) 省メモリかつ省実行時間のCOP機構の実現
- (b) 組み込み向けのプログラミング言語のサポート
- (c) リアルタイム性確保に不可欠なスケジューラの提供

本研究では、上記によって課題を解決するために、以下の二つに取り組んだ。

- (1) C++をベースとしたコンテキスト指向プログラミングフレームワークの提案
- (2) 優先度付きのコンテキスト適応を実現するレイヤスケジューリング手法の提案

取り組み(1)では、解決策(a)として、提案フレームワークをアプリケーションごとに不要な機能の取り外しが可能となる仕組みとした。また、ネイティブ環境での低レベル操作によってCOP機構を実現した。これにより、メモリ消費量を抑え、プログラムの実行時間を削減した。さらに、解決策(b)として、COPをC++の拡張により実現した。これにより、C++しかサポートしていないような、組み込みシステム用のプロセッサ上でもCOPアプリケーションを開発することを可能とした。

取り組み(2)では、解決策(c)として、優先度付きのコンテキスト適応を実現した。本手法では、同時に複数のコンテキスト適応が必要になった際に、前もって設定しておいた優先度が高いものから順に処理を行う。これによって、課題(iii)を解決し、COPを組み込みソフトウェア開発に用いやすくなった。

最後に、本論文では、組み込みソフトウェアへのCOP適用のケーススタディとして、複合現実(Mixed Reality)環境によるIoT教育システムを紹介する。このシステムによって、COPアプリケーションをいくつか開発し、COPフレームワークが想定通りの振る舞いをするか実験した。