

レイヤ相互作用図の協調ロボットシステムへの適用

小川英理^{†1} 海老原壱亮^{†2} 茂木康太郎^{†2} 齋藤 祐里^{†2} 渡辺晴美^{†1,2}

概要: 本稿ではコンテキスト指向技術のための IoT アプリケーションに適用したレイヤ相互作用図の新要素について述べる。コンテキスト指向技術はシステムの外部環境の変化に応じて、レイヤと呼ぶ単位で実行時にシステムを再構築するメカニズムを有する。本稿ではコンテキスト指向の例として協調ロボットシステムの例を示し、レイヤ相互作用図への適用を行う。

キーワード: コンテキスト指向技術, レイヤ, 協調ロボットシステム

Apply Layer Interaction Diagram to the Cooperative Robot System

ERI OGAWA^{†1} SHUSUKE EBIHARA^{†2} KOUTARO MOGI^{†2} YURI SAITO^{†2}
HARUMI WATANABE^{†1,2}

Keywords: Context-oriented technology, layer model, robot system

1. はじめに

コンテキスト指向プログラミング (Context-Oriented Programming: COP)は、システムの外部環境の変化によりレイヤと呼ぶ単位で実行時にシステムを再構築するメカニズムを有する[1][2][3][4]。レイヤは、複数の部分クラスを内包し、それらの部分クラス群によりシステムを同時に書き換えることができる。そのため、レイヤはコンテキスト指向技術の代表的な特徴である。本技術はプログラミングを中心に 2008 年頃から発展しはじめた。そのためモデリングの提案が少ない[5][6]。レイヤはオブジェクト指向に追加された概念であり、レイヤの相互作用はデッドロックや衝突などの問題を引き起こすことが考えられる。そこで、我々は、新たなモデリング技術が必要であると考え、RT-COM(Real-Time Context-Oriented Methodology)と呼ぶコンテキスト指向開発方法論について研究に取り組んでいる[7][8]。これまでの取り組みとして、レイヤ構造図とレイヤ相互作用図、レイヤモデリングツールを提案した [9]。本稿ではコンテキスト指向技術を用いた IoT アプリケーションの例として協調ロボットシステムを示し、コンテキスト指向技術における問題を示す。また、問題を解決するためのモデリングについて考察し、レイヤ相互作用図の新たな要素を提案する。

2. コンテキスト指向技術

本章ではコンテキスト指向技術の特徴であるレイヤに着目し概要を述べる。

2.1 横断的関心事

オブジェクト指向ではクラスの導入によりデータや処理を関心事として扱うことができる。しかし、オブジェクト指向ではオブジェクト間を横断して利用する処理が、分離された各モジュール内に表記される問題があった。このように各モジュール内に表記された処理の事を「横断的関心事」と呼ぶ。アスペクト指向技術は横断的関心事をモジュール化するメカニズムを有する。このような横断的関心事の振る舞い及びタイミングについてまとめたものをアスペクトと呼ぶ。アスペクト指向プログラミング (Aspect-oriented Programming : AOP)では Pointcut により実行される処理である Advice の集合をアスペクトとし、割り込み可能である Joinpoint を利用し、適用する場所を定義する。一方 COP では環境に適応した、すなわち文脈依存の振る舞いをモジュール化したものをレイヤにまとめ、実行時動的に複数のレイヤを切り替えことができる。図 1 はコンテキスト指向技術のイメージ図である。

2.1 レイヤ切り替え

レイヤにはクラス群が記載されている。例えばマルチ掃除機ロボットでは、モータ、センサ、処理についてクラス分けがなされている。コンテキスト指向技術におけるレイ

^{†1} 東海大学情報通信学研究所
Tokai University School of Information and Telecommunication Engineering
^{†2} 東海大学情報通信学部組込みソフトウェア工学科
Tokai University School of Information and Telecommunication Engineering
Department of Embedded Software Engineering

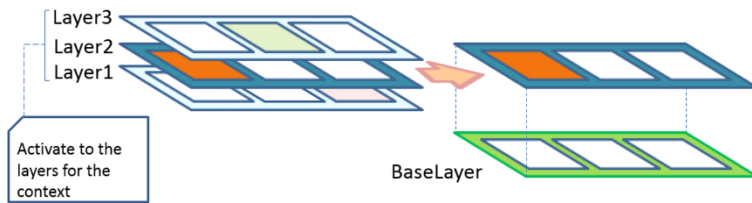


図 1. コンテキスト指向技術イメージ図

切り替えは、内包しているクラス群の構造は継続し、各クラス内部のみが書き換わる。例えば、マルチ掃除機ロボットが掃き掃除から拭き掃除へとレイヤを切り替える場合、掃き掃除ではモータクラスにおいて、ブラシを回転させていた。しかし、拭き掃除へとレイヤが切り替わったことにより、モータクラスは拭き掃除を行うためのモータ動作へと記載が変更される。このように、コンテキスト指向技術は環境に適用して振る舞いを動的に変更する。

3. ロボットシステムへの適用への課題

本章ではコンテキスト指向技術の適用例とし協調ロボットシステムを挙げ、協調ロボットシステムにおける問題について述べる。最初にロボットの例について説明する。

3.1 協調ロボットシステム

図 2 のように A～D に区切られた空間を複数台の掃除機ロボットが掃除を行うシステムを考える。A 及び D の床は芝生でできており、B 及び C の床はフローリングでできている。掃除機ロボットは、どのロボットも A 地点から掃除を開始し、A 地点において終了する。さらに掃除機ロボットは芝生にいる際は掃き掃除を行い、フローリングにいる際は拭き掃除を行う。掃除機ロボットには通常モード、汚れモードの 2 つが存在する。通常モードでは、1 空間に対して 1 台の掃除機ロボットが配置され、効率的に掃除を行う。汚れモードでは大量のゴミを感知した際通常モードから切り替わり、別のロボットへ信号を送り、協力しながらその空間を早急に掃除する。

3.2 相互作用問題

協調掃除機ロボットシステムでは、床の材質が芝生とフローリングで異なる。掃除機ロボットは芝生空間にいる際は掃き掃除を行い、フローリングにいる際は拭き掃除を行う。今 1 台の掃除機ロボットが A から B の空間へ移動しようとしている。掃除機ロボットは掃き掃除から拭き掃除へと切り替わる。この際掃除機ロボットには 2 つの問題が生じる。以下に二つの問題について記載する。

(1) サービス切り替え時の問題

本問題に関し、3 つの例を挙げる。1 つ目は、ロボットが動き出す時に起こる処理についての問題である。

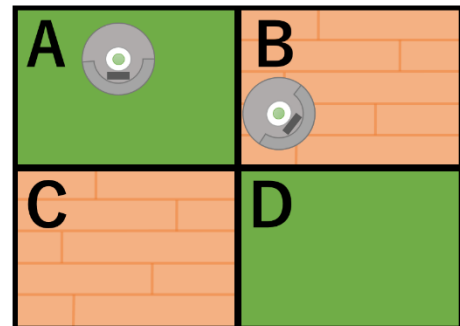
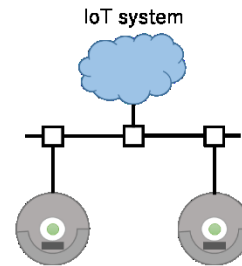


図 2. 協調ロボットシステムの例

ロボットは、最後に行った動作と現在行おうとしている動作が異なる場合、動作できるように定位置へと戻さなければいけない。例えば、現在のモータの角度を修正しなければ次の振る舞いを開始できない。2 つ目は、ロボットの動作が停止する時に起こる処理についての問題である。掃除機ロボットの場合、掃除中に突然、モータの動作を停止した場合、今まで集めてきたゴミを巻き散らす可能性がある。3 つ目は、ロボットが動作中、サービスを変更する時に起こる処理についての問題である。サービスとサービスを切り替える際に、使用するハードウェアが変わる場合がある。この時、ハードウェアを切り替えるための処理には時間がかかる。例えば、掃除する対象として綿ほこりと缶があった場合、綿ほこりは吸って掃除をするが、缶は拾って掃除をする。このように掃除動作が異なるため、それに伴い、掃除に使用するホースやアームといったハードウェアも動作に対応して変更する必要がある。このように動作の切り替えにはある一定の時間を要する。

(2) 排他的なサービスの問題

掃除機ロボットには規格や機種によって同じ動作でも同時に行える場合と行えない場合がある。例えば、掃き掃除と拭き掃除が同時に行えない場合や、同じ振る舞いでも屋内では動作できるが、屋外では、動作できない場合がある。

3.3 排他的制御問題

上記の例題において 3 台のロボットが掃除を行っている場合を考える。協調ロボットシステムには大量のゴミを感知した際、増援を呼ぶ汚れモードがある。1 台のロボッ

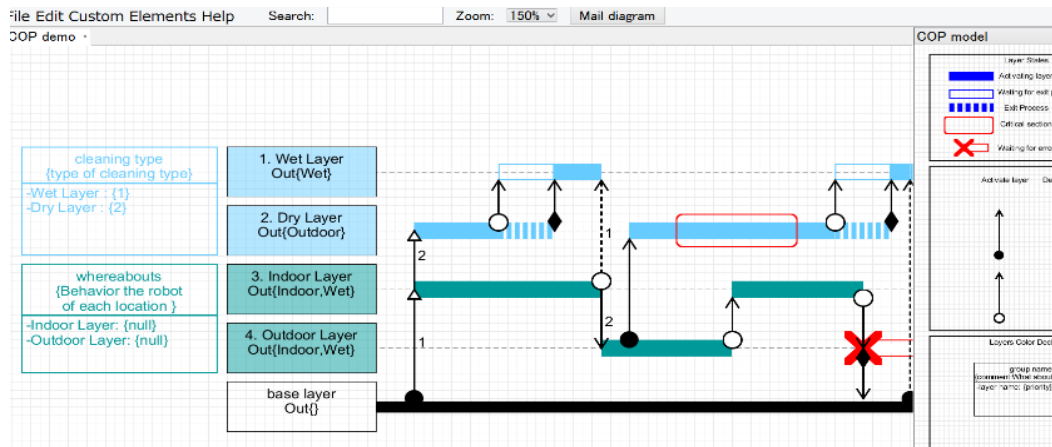


図 3. レイヤモデリングツール

トが大量のゴミを感知した場合、残りのロボットへ信号を送り、増援を呼ぶ。ここで A の空間にいるロボットが大量のゴミを感知し、2 台のロボットへ信号を送った。しかし、1 台のロボットが A 空間へ移動する途中、大量のゴミを感知した。レイヤの切り替えを動的に行った場合、ゴミを感知したロボットは汚れモードへと移行し、直ぐに増援を要請する。そして、増援要請から、移動中のロボット 2 台は新しく発見されたゴミの場所へ移動する。このようにレイヤを動的に切り替えてしまうと、システムに問題が生じてしまう場合が存在する。この場合レイヤは切り替え前に切り替えが可能な状態か IoT システムへ問い合わせる必要がある。

3.4 レイヤ問い合わせ問題

外部へ問い合わせを行い、結果に応じて切り替える動作を必要とする場合がある。これは一見セマフォで対応できる問題のように見える。しかし、レイヤは外部へ問い合わせを行ってから、結果が帰ってくるまでの間特別な待ち状態を持つ。ゆえに、外部への問い合わせをコンテキスト指向技術の構成として考える。

4. 先行研究

本章ではこれまで取り組んできた研究としてレイヤモデリングツールについて述べる[10][11]。レイヤモデリングツールはレイヤ相互作用図のためのモデリングツールである。レイヤ相互作用図はコンテキスト指向技術内の相互作用に着目した[12]。これにより、3 章における問題の相互作用問題について解決した。以下にレイヤモデリングツールの構成について述べる。

4.1 レイヤモデリングツール

図 3 は 3 章のロボットシステムについてレイヤモデリングツールでモデリングしたものである。本ツールは画面左側のモデルシートと、右側の部品シートからなる。以下、各々のツールの構成について述べる。

1. レイヤ情報： レイヤ相互作用図の左側にレイヤ毎に記載する。“レイヤ名”は、そのレイヤの名前を示す。

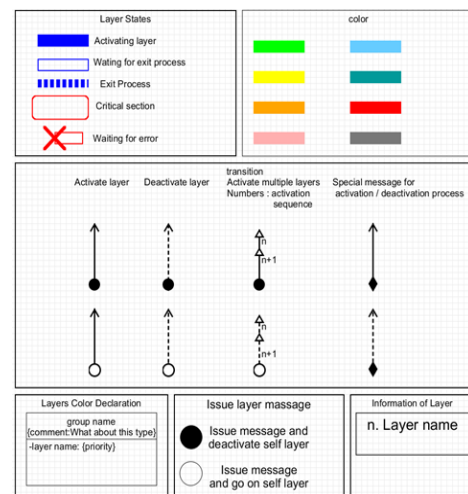


図 4. 部品シート

2. レイヤ状態： 図 4 に示すレイヤ状態は、以下 5 つである。

- (1) アクティブ状態
レイヤがアクティブしている状態であることを示し、その状態を色つきボックスで表す。
- (2) プリアクティブ状態
レイヤがアクティブする前に処理が必要なことを示し、その状態を白いボックスで表す。
- (3) ポストアクティブ状態
レイヤがディアクティブする際に処理が必要なことを示し、その状態を網掛けボックスで表す。
- (4) クリティカルセクション
囲まれた範囲内のレイヤとメッセージのやり取り、例えばディアクティブが行えないことを表す。
- (5) エラー処理状態
システムが緊急で一時停止等、エラーが起こった際の状態を表す。

3. メッセージ： 図4に示すメッセージは、以下の5つである。

- (1) レイヤアクティブイト
レイヤが活性化することを表す。
- (2) レイヤディアクティブイト
レイヤが非活性化することを表す。
- (3) マルチレイヤアクティブイト
複数のレイヤが同時に活性化することを表し、更にレイヤが重なる順序を示す。
- (4) マルチレイヤディアクティブイト
複数のレイヤが同時にディアクティブイトすることを表し、その順序を示す。
- (5) 通知メッセージ
後に示すレイヤ状態でレイヤがアクティブイト・ディアクティブイト可能状態になった際のメッセージ、またはエラーが生じた際のメッセージを表す。

4. レイヤの発行： 図4に示すレイヤメッセージ発行は、アクティブイト・ディアクティブイトメッセージと共に用いる。白丸は、メッセージを発したレイヤ自身がディアクティブ状態へ移行し、黒丸は、メッセージを発したレイヤ自身がアクティブ状態を保持することを表す。

5. レイヤカラー宣言： 4角2段をしており、上段へはレイヤの種類名を示し、かっこ内へレイヤの種類の説明を記載する。下段では同色のレイヤ名及び、それらレイヤに対するお互いの優先度を示す。レイヤカラー宣言の文字と色は、レイヤバーと同色になる。

5. 外部コンテキストイベントの提案

排他的制御問題に対して新たな要素を図5へ提案する。

5.1 外部コンテキストイベント

図5左は外部コンテキストイベントを表している。外部コンテキストイベントは、レイヤの切り替え時外部へ問い合わせを必要とする場合に用いる。下方矢印にはアクションを記載し、四角内部には外部のコンテキストイベント名を記載する。上向きの矢印にメッセージを記載する。

5.2 問い合わせ待ち状態

図5中央はレイヤの問い合わせ待ち状態を表している。レイヤの問い合わせ問題において、外部へ問い合わせを行った場合、レイヤには待ち状態が発生する。プレアクティブと異なり、問い合わせ待ち状態では後続する振る舞いに現状の振る舞いを再開することが考えられる。問い合わせ待ち状態は複数の縦線で記載する。

5.3 グループ宣言

図5右はグループ宣言を表している。レイヤ情報をグループ宣言で内包することにより、複数システムを差別化する。

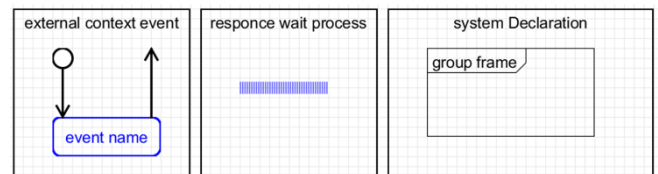


図 5. 相互作用図新要素

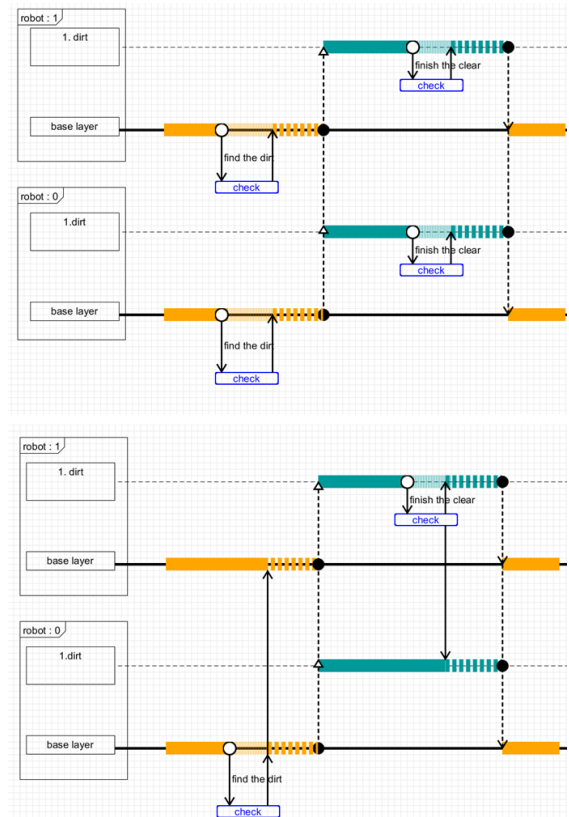


図 7. 新要素追加によるモデル

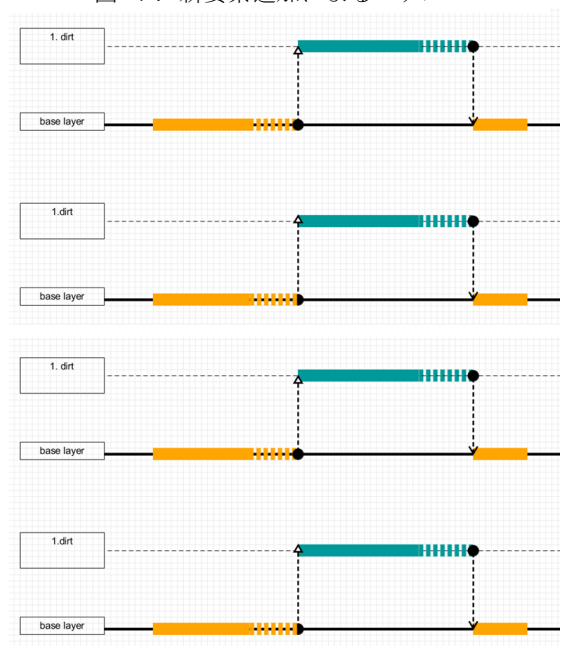


図 6. 相互作用図従来型モデル

6. 議論

本節では3章における排他的制御問題, 問い合わせ問題を解決するために相互作用図に対する新要素を提案した. 図6は新要素を加えず, 2台のロボットが掃除を行う場合について記載したモデルである. 上は2台とも汚れモードへ入った場合を示し, 下は1台が汚れモードへ入った場合を示す. レイヤ相互作用図ではレイヤの状態のみに着目している為, 振る舞いの異なる動作を行った場合でもモデルが同様のものになってしまう. 一方, 図7は同様の例で新要素を加えた場合について記載したモデルである. レイヤ相互作用図では同様のモデルだったのに対し, 新要素を加えた場合差別化が可能となった. これにより, 外部システムへ問い合わせなければいけない場合について, 相互作用図において記載できるようになり, レイヤ問い合わせ問題を解決した.

7. おわりに

本稿では協調ロボットシステムにおいてレイヤ切り替え時の問題として排他的制御問題, レイヤ問い合わせ問題を提示した. また, レイヤ問い合わせ問題に対し, コンテキスト指向技術の構成として扱うか議論を行った. その結果, 新たな要素として外部コンテキストイベント, 問い合わせ待ち状態, グループ宣言を提案した. 今後の課題として, 本稿で示したようなコンテキスト指向技術に関する問題を発見し, コンテキスト指向技術のためのモデリングについて更に考察していきたい.

参考文献

- [1] R. Hirschfeld, P. Costanza and O. Nierstrasz: Context-oriented Programming, Journal of Object Technology, Vol. 7, No. 3, pp. 125-151, 2008..
- [2] Malte Appeltauer and Robert Hirschfeld: The JCop Language Specification. HPI Technical Reports, vol. 59, 2012.
- [3] H. Watanabe, M.Sugaya, I.Tanigawa, N.Ogura and K.Hisazumi: A Study of Context-Oriented Programming for Applying to Robot Development, 'COP' 15 Proceedings of the 7th International Workshop on Context-Oriented Programming Article No. 4, 2015.
- [4] P.Costanza and R.Hirschfeld:Language constructs for context-oriented programming: an overview of ContextL, DLS '05 Proceedings of the 2005 symposium on Dynamic languages, pp. 1-10, 2005.
- [5] 紙名哲生, 青谷知幸, 増原英彦, 玉井哲雄. ユースケースを用いた文脈指向ソフトウェア開発. ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム 2011(SES2011), 2011.
- [6] T. Kamina, T. Aotani, and H. Masuhara, Modeling Context Changes and Layers: A Use Case Driven Approach. In 4th International Workshop on Context-Oriented Programming (COP'12), June 2012.
- [7] I. Tanigawa, N. Ogura, M. Sugaya, H. Watanabe and K. Hisazumi: A Structure of A C# Framework ContextCS based on Context-Oriented Programming, MODULARITY Companion'15, pp.2122, 2015.

- [8] 谷川 郁太, 渡辺 晴美: コンテキスト指向フレームワーク ContextCS による掃除機開発, 研究報告システム LSI 設計技術 (SLDM), pp. 1-5, 2014.
- [9] H. Watanabe, I. Tanigawa, M. Sugaya, Nobuhiko Ogura, K. Hisazumi: A Layer Structure Diagram and a Layer Interaction Diagram towards a Context-Oriented Development Methodology for Embedded System, International Workshop on LASSY, MODULARITY Companion'16, 2016.
- [10] 小川英理, 森谷大輔, 渡辺晴美: コンテキスト指向プログラミングのためのレイヤアクティベートモデルの考察, 組込みシンポジウム 2015 論文集, pp.133-134, 2015.
- [11] 小川英理, 上條弘貴, 渡辺晴美: コンテキスト指向開発のためのレイヤモデリングツールの考察, システム制御情報学会
- [12] 森谷大輔, 小川英理, 上條弘貴, 渡辺晴美: コンテキスト指向プログラミングのためのレイヤ相互作用図の考察, 信学技報 115(487), pp.125-130, 2016.