

令和 5 年 5 月 23 日現在

機関番号：33917

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11759

研究課題名（和文）IoTシステムのための品質主導型ソフトウェアアーキテクチャ設計手法の研究

研究課題名（英文）A Quality-Driven Software Architecture Design Method for IoT Systems

研究代表者

沢田 篤史（SAWADA, Atsushi）

南山大学・理工学部・教授

研究者番号：40273841

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、IoTシステムなどに代表されるサイバーフィジカルシステムを開発する際に、実現される品質を考慮しながらソフトウェアアーキテクチャを設計する工学的な方法論の構築を目的として実施した。アーキテクチャに基づいて実現できる品質特性を整理することで、相互運用性や保守性、使用性等の品質特性を柔軟に実現するためのコンテキスト指向アーキテクチャ設計パターンを提案するとともに、ホームネットワークやVRのアプリケーションを構築することでその妥当性を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果により、品質を考慮したIoTシステムのソフトウェア開発が効率化することが期待できる。一般にソフトウェアアーキテクチャは、それに基づいて構築されるソフトウェアの品質特性とともに開発プロセスを決定づけると言われている。本研究で提案したコンテキスト指向に基づくアーキテクチャ設計パターンでは、品質特性に関わるコンポーネントを状況（コンテキスト）に応じて入れ替えることを可能としている。これにより、システムに求められる複数の品質特性を考慮しながら、実行時にそれらを状況に応じて実現することが可能となる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aim at constructing a software architecture design methodology in which the system quality attributes resulting from designed architectures are systematically considered. We propose a set of context-oriented architectural design patterns by analyzing the relationships between specific style of architecture design and quality attributes such as interoperability, maintainability, usability and so forth. We have confirmed the validity of our proposal through the development of example applications such as home appliance cooperation, virtual reality, and so on.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：ソフトウェアアーキテクチャ IoT サイバーフィジカルシステム ソフトウェア品質 コンテキスト指向

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

インターネットや組み込みデバイスに関連する技術の発展・普及に伴い、IoTシステムは社会生活に不可欠な要素と位置づけられ、研究開始当初においてはそのアプリケーションにはより高品質が期待されており、その期待は現在も高まっている。IoTの標準化においては、主にシステムを構成するデバイス間の相互運用性・互換性の確保が重視されている。相互運用性・互換性の確保を目的に参照モデルが提案され、その枠組みのもとでデバイス他のIoTシステム構成要素やそれに対する操作が定義されていた。一方で、それら以外の品質特性についてはセキュリティに関する配慮が一部あるものの、十分に構造的な取扱いがされていない状況であった。ソフトウェアおよびシステムの品質については、ISO25000シリーズ等において、品質モデルを中心とした仕様記述、計測、管理の枠組みが標準として制定されてきた。一方で、IoTアプリケーションに要求される品質を実現するために行う分析・設計・実装工程の方法論においては、品質モデルとの対応や追跡性の確保についての取扱いが十分に構造化されていない状況であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、IoTシステムの構成と品質に関する知識を、ソフトウェアアーキテクチャの設計知識を核に統合し、高品質のIoTアプリケーション開発に活用することのできる工学的基盤を確立することである。ソフトウェアアーキテクチャ設計がIoTアプリケーションの品質に重要な影響を与えるとの認識のもと、設計とその判断に関する知識を中心に、アーキテクチャに基づくIoTアプリケーション設計のための方法論を構築する。これを利用してツールを統合することで、品質を考慮した設計、実装および文書化の支援、設計判断の記録を可能とし、高品質なIoTアプリケーションの構築支援基盤を実現する。

3. 研究の方法

本研究は、次の三つの重点研究課題に焦点をあて、研究代表者の研究代表者の統括のもと、二名の分担者と互いに連携を図りながら進めた。

- (a) 品質特性とソフトウェアアーキテクチャの相互関係の明確化
- (b) IoTアプリケーション設計のための統合型支援環境の構築
- (c) 品質特性とアーキテクチャ設計知識との間の整合性管理方式の実現

研究課題(a)では、研究代表者の沢田が中心となり、アーキテクチャ設計が品質特性に与える影響について考察した。品質モデル上の品質特性を実現可能なアーキテクチャ設計とその代替案との対応付けを明確化した。

研究課題(b)では、研究分担者の野呂が中心となり、課題(a)の検討結果に基づくソフトウェアアーキテクチャを中心とする開発支援の提供方式について検討した。課題(a)の成果をコンテキスト指向ソフトウェアアーキテクチャパターンとして取りまとめるとともに、具体的なIoTアプリケーションを構築することで提案手法の妥当性を評価した。

研究課題(c)では、研究分担者の張が中心となり、システムの品質要求と振舞いとの間の整合性を形式仕様記述に基づいて管理する方式について検討した。

4. 研究成果

前掲した重点研究課題を通じて、本研究では次のような成果を得た。

- (1) 柔軟なコンポーネント再構成を可能とするコンテキスト指向ソフトウェアアーキテクチャの設計

IoTシステムにおいて、品質に対する要求はシステムやユーザがおかれた環境に応じて変化する。本研究では、研究代表者らがこれまでに提案してきたインタラクティブシステムのための共通アーキテクチャであるCSA-Isys[1]を洗練することで、システムのコンポーネント構造を決定するメタレベル要素と、アプリケーションコンポーネントの構造を示すベースレベル要素に明確

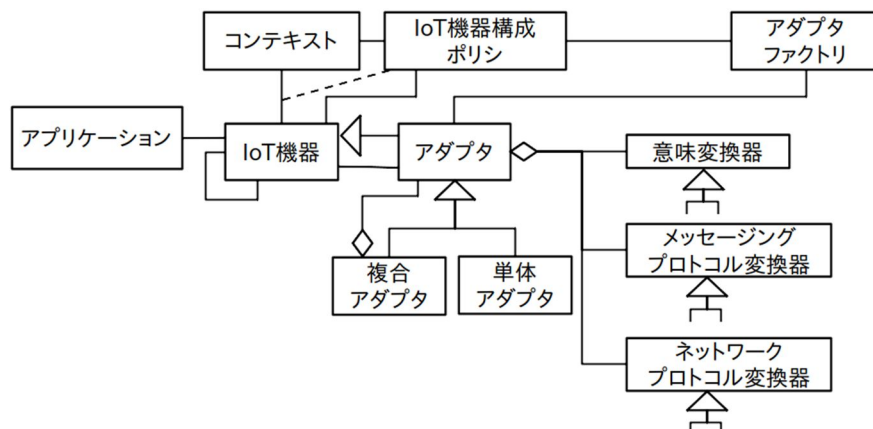


図1 ホームネットワークアプリケーションアーキテクチャ

に分離したコンテキスト指向アーキテクチャパターンを提案した。このアーキテクチャパターンを適用し、ホームネットワークアプリケーションのためのアーキテクチャ（図1）を提案した。このアーキテクチャに基づくことで、状況に応じた再構成によりアプリケーションの柔軟性に関する品質を高められること、さらに適切なモジュール化により保守性を高められることを示した。

(2) 品質を考慮して設計されたソフトウェアアーキテクチャに基づく組込みソフトウェアの設計法

この研究では、適切なモジュール化と品質特性の実現について考慮されたソフトウェアアーキテクチャに基づく組込みソフトウェア設計方法論について提案している。時間効率の品質特性を実現するために導入される並行性を考慮する際に、共有資源の特定とその実現を切り離すことで多様な非機能要求の実現に応えるための設計プロセス（図2）を定義した。これにより、IoTをはじめとする組込みソフトウェアの設計プロセスにおいて、同期問題と品質特性の実現問題とを系統的に取り扱うことを可能とした。

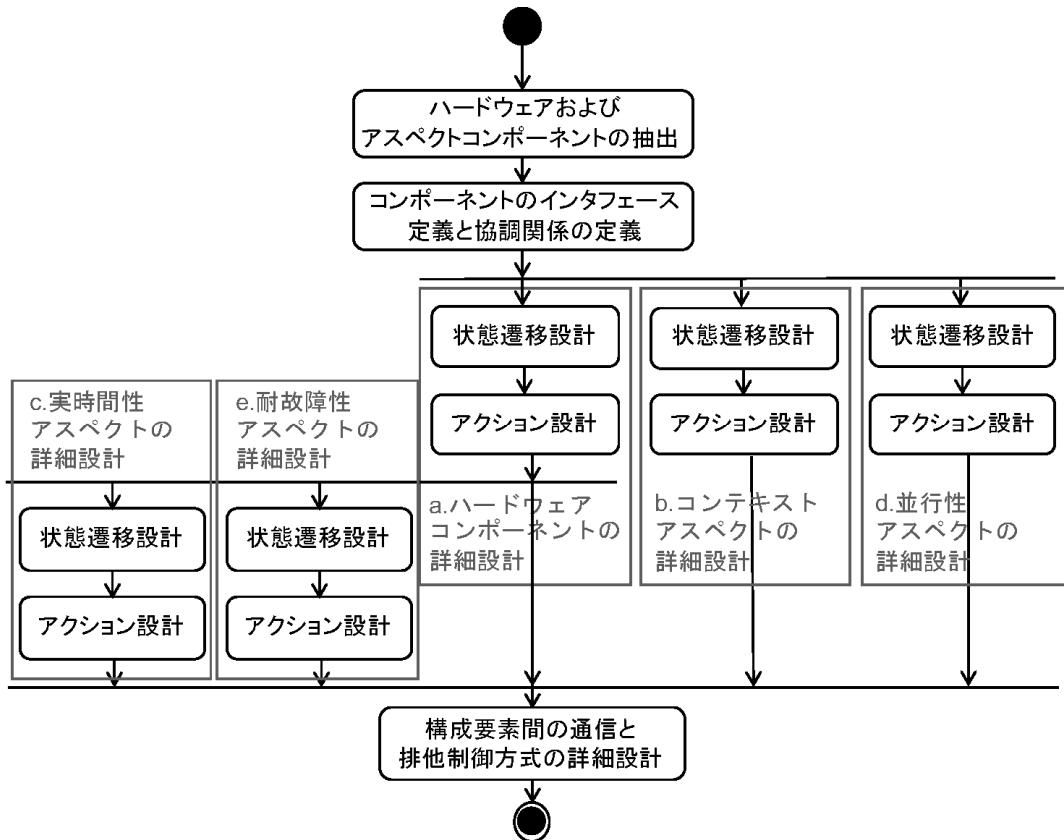


図2 品質を考慮した組込みソフトウェア設計プロセス

(3) アーキテクチャパターンおよび設計プロセスに基づくアプリケーション実装による提案手法の妥当性評価

本研究では、(1)および(2)におけるアーキテクチャパターンと設計プロセスの妥当性を評価するために、ロールプレイングゲーム、画像改ざん検知システム、仮想現実アプリケーションなどのプロトタイプを実装した。これらの開発を通じ、提案手法がおおむね妥当に機能することをしめした。一方で、コンテキストに応じた振舞いの形式的な記述方式・検証方式の整備や、いわゆる人工知能コンポーネントを組み込んだ場合の品質の評価方法について議論の必要があることが分かった。

<引用文献>

[1] 江坂 篤侍, 野呂 昌満, 沢田 篤史, インタラクティブシステムのための共通アーキテクチャの設計, コンピュータソフトウェア, Vol. 35, No. 3, 2018, pp. 3-15.
doi.org/10.11309/jssst.35.3

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 野呂昌満, 沢田篤史, 張漢明, 繁田雅信	4. 巻 2021
2. 論文標題 アスペクト指向アーキテクチャに基づく組込みソフトウェアの設計法の提案	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム2021論文集	6. 最初と最後の頁 32 - 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 竹内大輔, 野呂昌満, 沢田篤史	4. 巻 28
2. 論文標題 ゲーム対戦戦略をプレイヤー習熟度へ適応させる機械学習機構の設計	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ソフトウェア工学の基礎ワークショップ論文集	6. 最初と最後の頁 133 - 138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11309/fose.28.0_133	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Mizutani Akira, Noro Masami, Sawada Atsushi	4. 巻 -
2. 論文標題 Design of Software Architecture for Neural Network Cooperation: Case of Forgery Detection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. 2021 28th Asia-Pacific Software Engineering Conference	6. 最初と最後の頁 130 - 140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/APSEC53868.2021.00021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 竹内大輔, 野呂昌満, 沢田篤史	4. 巻 Vol. 121, No. 35
2. 論文標題 ゲームプレイヤーの習熟度に応じた対戦戦略の変更を可能とする機械学習器の設計	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 (知能ソフトウェア工学)	6. 最初と最後の頁 7 - 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 所澤亮介, 小川佑, 藤田龍, 沢田篤史, 野呂昌満	4. 巻 Vol. 121, No. 94
2. 論文標題 屋内測位方法の柔軟な切り替えのためのコンテキスト指向アーキテクチャの設計	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告(ソフトウェアサイエンス)	6. 最初と最後の頁 19 - 24
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 小澤司, 青山幹雄, 沢田篤史, 野呂昌満	4. 巻 Vol. 121, No. 294
2. 論文標題 業務の依存関係分析に基づくWebシステムアーキテクチャの再設計方法に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告(ソフトウェアサイエンス)	6. 最初と最後の頁 13 - 18
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 可知敬明, 青山幹雄, 野呂昌満, 沢田篤史	4. 巻 Vol. 2021-SE-209, No. 2
2. 論文標題 表現学習を用いたソフトウェア安定性の分析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報処理学会研究報告(ソフトウェア工学)	6. 最初と最後の頁 1 - 8
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 張漢明, 高木裕也, 沢田篤史, 野呂昌満	4. 巻 Vol. 2022-EMB-59, No. 56
2. 論文標題 並行システムデバッグ支援のためのフォールトパターンに関する考察	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報処理学会研究報告(組込みシステム)	6. 最初と最後の頁 1 - 7
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 横山史明, 沢田篤史, 野呂昌満, 江坂篤侍	4. 巻 62
2. 論文標題 IoTの柔軟な相互運用性を実現するソフトウェアアーキテクチャの提案	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 995 - 1007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00210550	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 張漢明, 野呂昌満, 沢田篤史	4. 巻 2021-EMB-56
2. 論文標題 同時に起こる事象を考慮した区間振る舞いモデルの提案	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報処理学会研究報告 (組込みシステム)	6. 最初と最後の頁 1 - 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 清原隆一, 沢田篤史, 野呂昌満	4. 巻 29
2. 論文標題 VR環境における文字入力支援システム	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ソフトウェア工学の基礎ワークショップ論文集	6. 最初と最後の頁 61 - 66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11309/fose.29.0_61	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 清原隆一, 長谷川舞, 加藤光琴, 沢田篤史, 野呂昌満	4. 巻 Vol. 122, No. 38
2. 論文標題 VR環境における文字入力方法に関する研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 (知能ソフトウェア工学)	6. 最初と最後の頁 7 - 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 野呂昌満, 沢田篤史, 張漢明, 繁田雅信
2. 発表標題 アスペクト指向アーキテクチャに基づく組み込みソフトウェアの設計法の提案
3. 学会等名 ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム2021 (SES2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内大輔, 野呂昌満, 沢田篤史
2. 発表標題 ゲーム対戦戦略をプレイヤー習熟度へ適応させる機械学習機構の設計
3. 学会等名 ソフトウェア工学の基礎ワークショップ2021 (FOSE2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akira Mizutani, Masami Noro, Atsushi Sawada
2. 発表標題 Design of Software Architecture for Neural Network Cooperation: Case of Forgery Detection
3. 学会等名 2021 28th Asia-Pacific Software Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内大輔, 野呂昌満, 沢田篤史
2. 発表標題 ゲームプレイヤーの習熟度に応じた対戦戦略の変更を可能とする機械学習器の設計
3. 学会等名 電子情報学会知能ソフトウェア工学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 所澤亮介, 小川佑, 藤田龍, 沢田篤史, 野呂昌満
2. 発表標題 屋内測位方法の柔軟な切り替えのためのコンテキスト指向アーキテクチャの設計
3. 学会等名 電子情報通信学会ソフトウェアサイエンス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 可知敬明, 青山幹雄, 野呂昌満, 沢田篤史
2. 発表標題 機械学習を用いたソフトウェア安定性分析に関する研究
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会第38回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小澤司, 青山幹雄, 沢田篤史, 野呂昌満
2. 発表標題 業務の依存関係分析に基づくWebシステムアーキテクチャの再設計方法に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会ソフトウェアサイエンス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 可知敬明, 青山幹雄, 野呂昌満, 沢田篤史
2. 発表標題 表現学習を用いたソフトウェア安定性の分析
3. 学会等名 情報処理学会ソフトウェア工学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 張漢明, 高木裕也, 沢田篤史, 野呂昌満
2. 発表標題 並行システムデバッグ支援のためのフォールトパターンに関する考察
3. 学会等名 情報処理学会組込みシステム研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 張漢明, 野呂昌満, 沢田篤史
2. 発表標題 同時に起こる事象を考慮した区間振る舞いモデルの提案
3. 学会等名 情報処理学会第56回組込みシステム研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清原隆一, 沢田篤史, 野呂昌満
2. 発表標題 VR環境における文字入力支援システム
3. 学会等名 ソフトウェア工学の基礎ワークショップ2022 (FOSE2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清原隆一, 長谷川舞, 加藤光琴, 沢田篤史, 野呂昌満
2. 発表標題 VR環境における文字入力方法に関する研究
3. 学会等名 電子情報学会知能ソフトウェア工学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清原隆一, 沢田篤史, 野呂昌満
2. 発表標題 VR環境における文字入力のための触感を伴ったフリック入力方法
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会第39回大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	野呂 昌満 (NORO Masami) (40189452)	南山大学・理工学部・教授 (33917)	
研究分担者	張 漢明 (CHANG Han-Myung) (90329756)	南山大学・理工学部・准教授 (33917)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------