

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：62615

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24240003

研究課題名(和文) 想定外に備えた空間制御ソフトウェアの分析・設計・検証手法

研究課題名(英文) Preparing Unanticipated Situation : Software Analysis, Design, and Verification for Cyber-Physical Systems

研究代表者

本位田 真一 (HONIDEN, Shinichi)

国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・教授

研究者番号：70332153

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、空間制御ソフトウェアを対象とし、想定外に備えて迅速なソフトウェア進化を実現する分析、設計、検証手法を提案した。具体的には、(1)物理要素の制御に関する要求をゴールモデル上で明示化させるための制御ループ要求パターンをゴールモデル整形プロセス、(2)要求モデル上で明示化した制御ループ要求に対する実現責務を用意にトレース可能とする、制御ループモデルをモジュール単位として扱うソフトウェアアーキテクチャ、(3)制御ループ仕様の誤りを早期に発見可能とするための検証手法を提案した。さらにそれらの成果を統合した開発プロセスを構築し、スマートルーム内の清掃システムを開発し、その効果を評価した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we proposed software analysis, design, and verification techniques for evolvable cyber-physical systems. Techniques we proposed mainly include (1) a control-loop pattern for goal model and a goal model elaboration process according to the pattern, (2) a control-loop oriented architecture pattern enabling architecture derivation from an elaborated goal model, and software verification techniques to identify errors in the specification. In addition, we constructed a software development process with these techniques and developed software of cleaning systems in smart rooms according to the process to evaluate our techniques.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：ゴール指向要求分析 ソフトウェアアーキテクチャ モデル検査

1. 研究開始当初の背景

センサ・アクチュエータ技術の発達により、ソフトウェアによる制御対象が物理空間にまで広がってきている。物理空間を制御する空間制御システムは、米国では NSF が推進する Cyber-Physical System のひとつとして、国内でも IT 戦略本部がまとめた「新たな情報通信技術戦略」における「住宅・オフィスの低炭素化への取組を推進」の中で、その必要性が論じられている。実用化が期待されている空間制御システムには、低炭素化を目指すスマートビルディング、大規模農場の自動管理、高齢者の在宅見守り、高度医療施設等が挙げられる。例えば、スマートビルディングの場合、空調・照明・空調・発電制御機能や、地震・火災に対する安全管理機能など、様々な空間制御機能を備えたソフトウェアが稼働する。このような空間制御ソフトウェアは、不具合が生じた場合その影響が物理空間に及ぶため、従来のソフトウェア以上に柔軟かつ頑健に動作するように開発しなければならない。

2. 研究の目的

空間制御ソフトウェアの実用化のためには、同一空間内に多数の制御機能が稼働する環境下で動作するように開発することが求められる。このような空間内では(1)複数の制御機能による物理的に干渉や、(2)空間内のモノの移動や機器の故障などによって空間状態に変化が生じる可能性がある。

例えば、音声ナビゲーション機能が動作している空間内では、音による対象の位置推定の精度が低下してしまう。また、空間内のモノの配置が変更になることでセンサの観測可能範囲や、アクチュエータが与える物理的影響範囲が変化し、期待する物理的相互作用が行えなくなる。このように、空間内での干渉や状態の変化に想定漏れが生じた場合、空間制御ソフトウェアは想定外の動作が行われ、想定外の事故を引き起こす可能性がある。物理的影響が与える範囲やその効果は物理シミュレーションによって特定することが可能であるが、新たに発覚した空間状況下に対応するためにはソフトウェアを進化させる必要がある。

そこで本研究では、複数の制御機能が同一空間内で動作しても柔軟・頑健に動作し、想定漏れした空間変化に対応するよう迅速にソフトウェアを進化させることを可能とする開発手法を確立することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、制御ループを中心とした分析・設計・検証手法を確立するために、次の実施項目 1, 2, 3, 4 を実施した。

(1)実施項目 1. 制御ループ仕様を早期に特定する分析手法の提案

分析工程では、起こりうる空間状態を特定

し、空間状態毎に必要な制御ループの仕様を決定する必要がある。そこで、まず、想定漏れを未然に防ぐために、典型的な空間状態変化をパターン化し、起こりうる空間状態変化の抜け漏れを防ぐ空間状態分析の支援手法を提案した。また、進化時において、想定漏れした空間状態に対して要求を満たすために必要な制御ループ仕様を導出するために、制御ループ仕様を明確となるように要求モデルを整形する手法を提案した。

(2)実施項目 2. 制御ループを中心とした自己適応システム設計手法の提案

実施項目 1 における制御ループ仕様を、設計段階でも容易に追跡可能とし、進化時に必要な制御ループの追加、修正箇所を局所化するために、制御ループをモデリング単位として扱う新たな自己適応ソフトウェアアーキテクチャを提案した。

また、進化時に、新たに特定した空間状態変化の検知機能設計を支援する、空間監視機能のためのドメイン特化モデリング言語を提案した。

(3)実施項目 3. 制御ループを中心とした分析・設計における検証手法の提案

実施項目 1, 2 における分析・設計手法にて構築したモデルのそれぞれにおける整合性、およびモデル間の整合性に関する検証手法を構築した。特に注力する点としてまず、個別に構築された後に同じ空間に統合される複数の制御機能に関し、統合時の干渉について検証したり、統合前に干渉の可能性について模索・検討したりする手法を含めた。また進化に伴う変更に対し、進化前のモデルより不整合に至る可能性や再検証の必要性を導く手法も含めた。

(4)実施項目 4. 実証実験

実施項目 1~3 の研究成果を統合した開発プロセスを構築し、分析・設計・検証を支援するツール群を開発した。さらに、これらのプロセス・開発ツールを用いて、スマートビルディングを対象として多数の制御機能を備えた空間制御ソフトウェアを開発する実証実験を行った。また、開発プロセス、ツール、実証実験での成果物を公開した。

4. 研究成果

(1) “制御ループ仕様を早期に特定する分析手法” に関しては、空間制御ソフトウェアの分析工程で必要となる、起こりうる空間変化の分析を支援するために、システムと外界のインタラクションに着目したソフトウェアの抽象化手法を提案し、ソフトウェア仕様が外界との典型的なインタラクションに準拠しているかを検証する手法を提案した。また、各空間状態に対する制御ループ仕様の導出を支援するために、ゴールモデルから空間制御の仕様である制御ループを導出する手法

を提案した。

初期のゴールモデルに対して制御ループの仕様に関連するゴールを明確にすることで、制御ループ仕様導出や制御ループ間の競合を早期に検知することができる手法を提案した。

これらの成果は要求工学のトップ会議である RE や、自己適応システムのトップ会議である SASO に採択された。

(2) “制御ループを中心とした自己適応システム設計手法” に関しては、エージェントベースモデルに基づき、制御ループを単一モジュールとして扱うアーキテクチャや、その記述言語を提案した。また、空間状態の変化検知機能の設計を支援するために、検知機能を記述するドメイン特化言語を提案し、モデル変換によって観測プラットフォームに対して非依存のモデルから、依存するモデルに変換する手法を提案した。

これらの成果は IEEE Transactions on SMC や、電子情報通信学会論文誌等に採択された。

(3) “制御ループを中心とした分析・設計における検証手法” に関しては、実行時に空間制御ソフトウェアが期待する品質を提供できているかを検証し、自己適応によって保証し続ける手法を提案した。また、空間制御ソフトウェアは物理世界と相互作用するため、法律から空間制御ソフトウェアが満たすべき要求仕様を導出する手法を提案した。

これらの成果は、電子情報通信学会論文誌等に採択された。

(4) 実施項目 1~3 での成果となる空間制御システムに関する、分析、設計、検証手法を統合し、制御ループモデルを中心とした空間制御ソフトウェアの開発プロセスを構築した。さらに、分析工程、設計工程、検証工程を支援するツールと、それらをつなぐツールチェーンを構築した。

次に、構築した開発プロセスを用いた評価実験を行った。評価実験では、国立情報学研究所内のスマートルームを用いた室内自動清掃システムを開発した。室内に配置された位置センサを入力、清掃ロボットを出力とし、それらを統合、制御する空間制御ソフトウェアを、提案した手法を活用して構築した。さらに、清掃機能の追加や、引き尿的要求の追加を想定したソフトウェア進化を行い、本提案手法の有効性を評価した。さらに構築したツールや、実装した環境制御ソフトウェアを公開した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 14 件)

1. Kenji Tei, Ryo Shimizu, Yoshiaki

Fukazawa, Shinichi Honiden, Model-Driven-Development-based Stepwise Software Development Process for Wireless Sensor Networks, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 査読有, Vol.45(4), 2015, 675-687, doi:10.1109/TSMC.2014.2360506

2. Quanwang Wu, Qingsheng Zhu, Xing Jian, Fuyuki Ishikawa, Broker-based SLA-aware Composite Service Provisioning, Journal of Systems and Software, 査読有, Vol.96, 2014, 194-201, doi:10.1016/j.jss.2014.06.027

3. Dong-Hoon Shin, Kyong-Ho Lee, Fuyuki Ishikawa, A graph-based approach enhancing correctness and speed of web services composition through explicit specification of functional semantics, International Journal of Web and Grid Services, 査読有, Vol.10 (4), 2014, 297-318, doi:10.1504/IJWGS.2014.064913

4. Adrian Klein, Fuyuki Ishikawa and Shinichi Honiden, SanGA: A Self-adaptive Network-aware Approach to Service Composition, IEEE Transactions on Services Computing, 査読有, Vol.7 (3), 2013, 452-464, doi:10.1109/TSC.2013.2

5. 清水 遼, 鄭 顕志, 深澤 良彰, 本位田 真一, 無線センサネットワークにおけるデータ品質改善の為の開発プロセス, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, J97-D(3), 2014, 437-487, http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j97-d_3_473

6. 鄭 顕志, 清水 遼, 高橋 竜一, 石川 冬樹, 自己適応ソフトウェアのための自己適応性設計に関する研究動向, コンピュータソフトウェア, 査読有, Vol.31(1), 2014, 49-59, DOI:10.11309/jssst.31.1_49

7. 新居 雅行, 鄭 顕志, 石川 冬樹, エンドユーザーによる保守作業を可能にする Web アプリケーションフレームワーク, コンピュータソフトウェア, 査読有, Vol.31(1), 2014, 60-74, DOI:10.11309/jssst.31.1_60

8. 姜 帆, 田辺 良則, 本位田 真一, Coq を使用した MapReduce アプリケーションの検証と Scala コードの抽出, 電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, J96-D(8), 2014, 625-634, http://search.ieice.org/bin/pdf.php?lang=J&year=2014&fname=j97-d_3_625&abst=

9. Valentina Baljak, Kenji Tei, Shinichi

Honiden, Faults in Sensory Readings: Classification and Model Learning, Sensors & Transducers Journal, 査読有, Vol.18, 2013, 177-187, http://www.sensorsportal.com/HTML/DIGEST/P_SI_304.htm

10. 井上 拓, 本位田 真一, 照合操作の識別のためのOCL記述の解析方法, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol.54(No.3), 2013, 1165-1184, https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=91324&item_no=1&page_id=13&block_id=8

11. 前澤 悠太, 鷲崎 弘宜, 本位田 真一, インタラクシオンに着目したステートマシン抽出による Rich Internet Applications の欠陥発見の支援, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol.54(No.2), 2013, 820-834, https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=90306&item_no=1&page_id=13&block_id=8

12. 井上 拓, 本位田 真一, 参照整合性の検証のための UML Activity 解析方法, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol.54(No.2), 2013, 774-786, https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=90302&item_no=1&page_id=13&block_id=8

13. 中川 博之, 大須賀 昭彦, 本位田 真一, ゴール指向要求記述の整形に基づいたソフトウェアシステム進化手法, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol.53(No.10), 2012, 2328-2344, https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=86046&item_no=1&page_id=13&block_id=8

14. Valentina Baljak, Marius Tudor Benea, Amal El Fallah Seghrouchni, Cedric Herpson, , Shinichi Honiden, Thi Thuy Nga Nguyen, Andrei Olaru, Ryo Shimizu, Kenji Tei, Susumu Toriumi, S-CLAIM: An Agent-based Programming Language for Aml, A Smart-Room Case Study, Procedia Computer Science, 査読有, Vol.10, 2012, 30-37, doi:10.1016/j.procs.2012.06.008

〔学会発表〕(計31件)

1. Soramichi Akiyama, Takahiro Hirofuchi and Shinichi Honiden, Evaluating Impact of Live Migration on Data Center Energy Saving, 6th IEEE International Conference

on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom 2014), 2014年12月15日~18日, Singapore (Singapore)

2. Ryo Shimizu, Kenji Tei, Yoshiaki Fukazawa, Shinichi Honiden, Toward A Portability Framework with Multi-Level Models for Wireless Sensor Network Software, The 2014 International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP 2014), 2014年11月3日~5日, Hong Kong (China)

3. Ryo Shimizu, Kenji Tei, Yoshiaki Fukazawa, Shinichi Honiden, Supporting Model Transformation Developments with Multi-Level Models: A Wireless Sensor Network Case, The 11th International Conference Applied Computing 2014 (AC 2014), 2014年10月25日~27日, Porto (Portugal)

4. Yuta Maezawa, Kazuki Nishiura, Hironori Washizaki, Shinichi Honiden, Validating Ajax Applications Using a Delay-Based Mutation Technique, The 29th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE 2014), 2014年9月15日~19日, Vasteras (Sweden)

5. Kenji Tei, Kazuya Aizawa, Shunichiro Suenaga, Ryuichi Takahashi, Shun Lee, Yoshiaki Fukazawa, HoppingDuster: Self-adaptive Cleaning Robot based on Aerial Vehicle, The 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp 2014), 2014年9月13日~17日, Seattle (USA)

6. Quanwang Wu, Fuyuki Ishikawa, Towards Service Skyline for Multi-granularity Service Composition, International Workshop on Web Intelligence and Smart Sensing (IWWISS 2014), 2014年9月1日~2日, Saint Etienne (France)

7. Shunichiro Suenaga, Kenji Tei, Project Management Inspired Framework for Action Selection in Wireless Sensor Networks, Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile 2014 (APWiMob2014), 2014年8月28日~30日, Bali (Indonesia)

8. Soramichi Akiyama, Takahiro Hirofuchi, Ryousei Takano and Shinichi Honiden, Fast Live Migration with Small IO Performance Penalty by Exploiting SAN in Parallel, The 2014 IEEE 7th International Conference on Cloud Computing (IEEE CLOUD'14), 2014年6月27日~7月2日, Alaska (USA)

9. Takayuki Suzuki, Kazunori Sakamoto, Fuyuki Ishikawa, Shinichi Honiden, An Approach for Evaluating and Suggesting Method Names using N-gram Models, 22nd International Conference on Program Comprehension (ICPC 2014), 2014年6月2日~3日, Hyderabad (India)
10. Tsutomu Kobayashi, Fuyuki Ishikawa, and Shinichi Honiden, Understanding and Planning Event-B Refinement through Primitive Rationales, 4th International ABZ Conference (ABZ 2014), 2014年6月2日~6日, Toulouse (France)
11. Shengbo Xu, Yuki Inoue, Tetsunari Inamura, Hirotaka Moriguchi, Shinichi Honiden, Sample Efficiency Improvement on Neuroevolution via Estimation-Based Elimination Strategy, The 13th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS2014), 2014年5月5日~9日, Paris (France)
12. Kohsuke Yatoh, Kazunori Sakamoto, Fuyuki Ishikawa and Shinichi Honiden, ArbitCheck: a highly automated property-based testing tool for Java, IEEE International Conference on Software Testing, Verification and Validation (ICST 2014), 2014年3月31日~4月4日, Cleveland (USA)
13. Tuan Anh Nguyen, Doina Bucur, Marco Aiello, and Kenji Tei, Applying Time Series Analysis and Neighbourhood Voting in a Decentralised Approach for Fault Detection and Classification in WSNs, the 4th International Symposium on Information and Communication Technology(SoICT2013), 2013年12月5日~6日, Hanoi (VietNam)
14. Ehsan Ullah Warriach, and Kenji Tei, Fault Detection in Wireless Sensor Networks: A Machine Learning Approach, the 10th IEEE International Conference on Embedded Software and Systems (ICES13), 2013年12月3日~5日, Sydney (Australia)
15. Yuta Maezawa, Hironori Washizaki, Yoshinori Tanabe and Shinichi Honiden, Automated Verification of Pattern-based Interaction Invariants in Ajax Applications, The 28th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE'13), 2013年11月11日~15日
16. Tuan Anh Nguyen, Marco Aiello, and Kenji Tei, A Decentralized Scheme for Fault Detection and Classification in WSNs, The 1st International Conference on Cyber-Physical Systems, Networks, and Applications, 2013年8月19日~20日, Taipei (Taiwan)
17. Ryuichi Takahashi, Fuyuki Ishikawa, Kenji Tei, Yoshiaki Fukazawa, Intention-based Automated Composition Approach for Coordination Protocol, IEEE 11th International Conference on Web Services (ICWS2013), 2013年6月27日~7月2日, Santa Clara (USA)
18. Kazuki Nishiura, Yuta Maezawa, Hironori Washizaki and Shinichi Honiden, Mutation Analysis for JavaScript Web Applications Testing, The 25th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE'13), 2013年6月27日~29日, Boston (USA)
19. Shengbo Xu, Hirotaka Moriguchi and Shinichi Honiden, Sample Efficiency Analysis of Neuroevolution Algorithms on a Quadruped Robot, 2013 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC'13), 2013年6月20日~23日, Cancun (Mexico)
20. Hiroyuki Nakagawa, Akihiko Ohsuga, Shinichi Honiden, A Goal Model Elaboration for Localizing Changes in Software Evolution, 21st IEEE International Requirements Engineering Conference (RE'13), 2013年6月17日~19日, Rio de Janeiro (Brasil)
21. Soramichi Akiyama, Takahiro Hirofuchi, Ryousei Takano and Shinichi Honiden, Fast Wide Area Live Migration with a Low Overhead through Page Cache Teleportation, The 13th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid'13), 2013年5月13日~16日, Delft (Netherlands)
22. Valentina Baljak, Kenji Tei and Shinichi Honiden, Fault Classification and Model Learning from Sensory Readings - Framework for Fault Tolerance in Wireless Sensor Networks, IEEE 8th International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP'13), 2013年4月2日~5日, Melbourne (Australia)
23. Xu Shengbo, Hirotaka Moriguchi,

Shinichi Honiden, Efficient Neuroevolution for a Quadruped Robot, The Ninth International Conference on Simulated Evolution And Learning (SEAL 2012), 2012年12月16日～19日, Ha Noi (Vietnam)

24. Fuyuki Ishikawa, Rihoko Kawai (Inoue), Shinichi Honiden, Modeling and Analyzing Legal Interpretations for/by Requirements Engineering Approaches, The 6th International Workshop on Juris-informatics (JURISIN 2012), 2012年11月30日～12月1日, JA-AZM ホール (宮崎県・宮崎市)

25. Ehsan Warriach, Kenji Tei, Tuan Anh Nguyen, Marco Aiello, A Hybrid Fault Detection Approach for Context-aware Wireless Sensor Networks, The 9th IEEE International Conference on Mobile Ad hoc and Sensor Systems (IEEE MASS2012), 2012年10月8日～11日, Las Vegas (USA)

26. Hiroyuki Nakagawa, Akihiko Ohsuga, Shinichi Honiden, Towards Dynamic Evolution of Self-adaptive Systems Based on Dynamic Updating of Control Loops, The 6th IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems (SASO 2012), 2012年9月10日～14日, Lyon (France)

27. Valentina Baljak, Kenji Tei, and Shinichi Honiden, Classification of Faults in Sensor Readings with Statistical Pattern Recognition, The Sixth International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM 2012), 2012年8月19日～24日, Rome (Italy)

28. Hirotaka Moriguchi and Shinichi Honiden, CMA-TWEANN: Efficient Neuroevolution via Synthetic Evolution, Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO2012), 2012年7月7日～11日, Philadelphia (USA)

29. Florian Wagner, Adrian Klein, Benjamin Kloepper, Fuyuki Ishikawa, Shinichi Honiden, Multi-objective Service Composition with Time- and Input-Dependent QoS, The 10th International Conference on Web Services (ICWS 2012), 2012年6月24日～29日, Honolulu (USA)

30. Adrian Klein, Florian Wagner, Fuyuki Ishikawa, Shinichi Honiden, A

Probabilistic Approach for Long-Term B2B Service Compositions, The 10th International Conference on Web Services (ICWS 2012), 2012年6月24日～29日, Honolulu (USA)

31. Ryo Shimizu, Kenji Tei, Yoshiaki Fukazawa, Shinichi Honiden, Case Studies on the Development of Wireless Sensor Network Applications using Multiple Abstraction Levels, 3rd International Workshop on Software Engineering for Sensor Network Applications (SESENA '12), 2012年6月2日～9日, Zurich (Switzerland)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本位田 真一 (HONIDEN, Shinichi)
国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・教授
研究者番号: 70332153

(2) 研究分担者

鄭 顕志 (TEI, Kenji)
国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・助教
研究者番号: 40434295

石川 冬樹 (ISHIKAWA, Fuyuki)
国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系・准教授
研究者番号: 50455193

(3) 連携研究者

なし