

平成 30 年 5 月 19 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00097

研究課題名(和文) 変更に硬いソフトウェアに対する自己適応メカニズムを利用した可変性向上に関する研究

研究課題名(英文) A Study of Flexibility Enhancement Based on a Self-adaptive Mechanism

研究代表者

中川 博之 (Nakagawa, Hiroyuki)

大阪大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：40508834

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、組み込みシステムなどの変更に硬いソフトウェアシステムに対しての、柔軟な機能変更、機能追加手法を検討した。具体的には、環境の変化に応じて構成や振舞いを自発的に変化させる自己適応システムの適応メカニズムを用い、機能の変化分を外部から追加することによる機能変更手法を提案した。同変更を実現するために、小型PCであるRaspberry Pi上に自己適応メカニズムMAPE loopエンジンを動作させる機能拡張エンジンを構築した。清掃ロボットを題材とした、機能拡張実験を実施し、変更に硬い組み込みシステムに対しても、外部よりMAPEループを追加することで、機能追加が実装できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：This study aims to enhance the flexibility of software systems that generally hard to be changed, such as embedded systems and legacy systems. In order to realize this, we use the MAPE (Monitor-Analyze-Plan-Execute) loop mechanism, which is a mechanism for realizing self-adaptation. We developed the extension mechanism by deploying a programming framework for implementing new functions using the MAPE loop mechanism on Raspberry Pi. We conducted an experiment in which we added new functions to a cleaning robot and demonstrated that the mechanism can efficiently add new functions to software systems that are generally hard to be changed.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：ソフトウェア進化 自己適応システム 組み込みシステム プログラミングフレームワーク 要求工学

1. 研究開始当初の背景

我々の生活の様々な局面に登場するソフトウェアシステムの多くは、実世界を対象としたものであり、環境やユーザ要求の変化に応じて変更できる柔軟性が求められている。特に近年では、環境の変化やユーザ要求の変化は頻繁化しており、ソフトウェア構築後の変更（機能拡張）は前提となっている。

一般に、オブジェクト指向プログラミングの普及やソフトウェア開発方法論の発展に伴い、ソフトウェアの再利用性は向上している。しかし、コードの変更が困難なソフトウェア、つまり組み込みシステムやレガシーシステムを構成するソフトウェアにおいては、コードを直接変更することが困難であることから、未だ十分な再利用法が確立されてはいなかった。これらのソフトウェアの多くは、構築コストも高く、従来長期間の利用が想定されているものであるが、近年の環境変化やユーザ要求変化の急速化に伴い、ソフトウェアの短命化や変化への非追従が問題となり始めていた。実世界環境変化やユーザ要求の多様化、頻繁な変化に対応するためには、これらの変更が難しいソフトウェアの可変性（変更のしやすさ）向上技術の確立が必要であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、組み込みシステムやレガシーシステムのような実装コードの変更が困難であるソフトウェアに対して、その可変性（変更容易性）を向上させる技術を確立することである。その特徴は、環境の変化に応じてシステム構成を自発的に変化させる自己適応ソフトウェア(self-adaptive software)の適応メカニズムを拡張利用するところにある。本研究では、既存コードと追加コードを効果的に共存させ、適応メカニズムにより適切に制御を切り替えることで、コードの書き換えではなく、追加と切り替えによる変更を実現する。本研究により、変更が困難なソフトウェアに対しての柔軟な変更手段を提供し、既存ソフトウェア再利用の可能性を飛躍的に向上させる。

3. 研究の方法

(1)課題設定：本研究では、まず以下の課題を設定し、これらの課題を解決するソフトウェア開発法およびミドルウェアを検討した。

(課題1) 変更が難しいソフトウェアの可変性向上技術の確立：コードの変更が困難なソフトウェアに対しては、現状、ソフトウェアの振る舞いを変更させることは困難である。既存コードを変更することなく、振る舞いを変更させるためのソフトウェア可変技術は現段階では確立さ

れておらず、変更が難しいソフトウェアの可変性向上技術を確立させる必要がある。

(課題2) 機能拡張手法の確立：コードの変更が困難なソフトウェアの多くは、コードの可読性も低い。従って、コード情報に依存せず、変更箇所や変更内容を決定する新しい開発手法の提供が必要である。

(2)サブテーマへの分割：本研究では、まず以下の課題を設定し、これらの課題を解決するソフトウェア開発法およびミドルウェアを検討した。

サブテーマ1：ゴールモデルに基づいた機能拡張手法の確立

変更が難しいソフトウェアに対する効果的な機能拡張法を検討する。本テーマでは、要求の階層構造記述が可能であるゴールモデルを利用し、まず、変更箇所・変更内容を決定するためのゴールモデル整形手法を設計する。この整形手法により、自己適応メカニズム(MAPE loop)と要求モデルとが対応付けられ、設計モデル上での変更箇所(拡張ポイント)が同定される。その後、コード上の具体的な拡張ポイントを決定するモデル変換手法を構築する。特に、変更箇所の同定については同定アルゴリズムを設計し、これを自動化する設計支援ツールを実装する。

サブテーマ2：自己適応メカニズムに基づいた機能拡張エンジンの構築

サブテーマ1の成果により同定される変更箇所に対して、変更を実装するための機能拡張エンジンを構築する。本サブテーマでは、まず、MAPE loopに基づいた機能拡張メカニズムを設計し、そのメカニズムに基づいて拡張ポイント上でのコード変更を可能とするAPIを設計する。本APIは、提案手法が提供する機能拡張エンジンと開発者が記述するプログラムを相互作用させるためのインタフェースとなる。その後、検討したAPIを提供する機能拡張エンジンを実装する。

サブテーマ3：既存ソフトウェア拡張実験

サブテーマ1,2で検討した設計手法と機能拡張エンジンに基づき、複数ドメインのソフトウェアを対象とした機能拡張実験を実施する。本実証実験では特に、変更が難しいソフトウェアとして、既存のレガシーシステムと組み込みシステムを例にとり、これらのソフトウェアに対し、ユーザ要求やサービス要求の変化などの様々な機能拡張要求を元に提案する設計手法を通して機能拡張を試み、サブテーマ1,2の研究成果に対する有効性・妥当

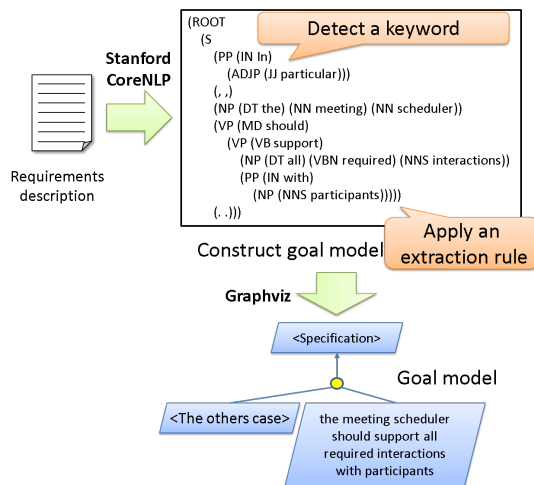


図 1 . ゴールモデル構築プロセスの自動化

性を評価する .

4 . 研究成果

上記の各テーマに関して , 以下の成果が得られた .

- (1) ゴールモデルに基づいた機能拡張手法の確立 : 機能拡張の拠り所となる要求の管理・抽出法に関する検討を進めた . まず , 自然言語で記述された文書から , ゴールモデルを構築する手法を検討し , ゴールモデル構築のガイドラインをまとめ , 一部のプロセスを自動化した (図 1) . 本成果をまとめた論文は , 要求工学に関するシンポジウム APRES 2017 (The 4th Asia Pacific Requirements Engineering Symposium) にフルペーパーとして採録された . 併せて , 自然言語文書からソフトウェアの制約が潜在しうる属性ペアを検出する手法についても検討した . 本成果をまとめた論文は , ソフトウェア工学と知識工学に関する国際会議 SEKE2018 (The 30th International Conference on Software Engineering & Knowledge Engineering) にショートペーパーとして採録された .
また , 膨大なレビューデータから要求が記述されたレビューや機能を分類する技術として , LDA の精度を向上させる手法を構築した . 本成果をまとめた論文は , 同じく SEKE2018 にショートペーパーとして採録された .
- (2) 自己適応メカニズムに基づいた機能拡張エンジンの構築 : 本サブテーマでは , まず , 自己適応メカニズムとして知られる MAPE (Monitor-Analyze-Plan-Execute) loop に基づいた機能拡張メカニズムを設計し , そのメカニズムに基づいて拡張機能を実装する API を設計した . この API を提供する機能拡張エンジンを実装し , 同エンジンを配置する小型モジ

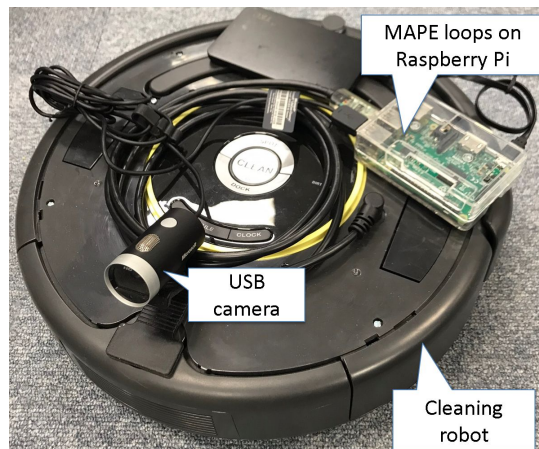


図 2 . 清掃ロボットの機能拡張実験

ュールを構築した . この小型モジュールの実装は , 小型 PC として知られる Raspberry Pi を用いた .

- (3) 既存ソフトウェア拡張実験 : サブテーマ 1,2 で検討した設計手法と機能拡張エンジンに基づき , 機能拡張実験を実施した . 本実証実験では特に , 組み込みシステムとして清掃ロボットを題材として , 拡張機能を実装した . 図 2 に , 本拡張実験で拡張機能を追加した清掃ロボットを示す . 実験結果より , 変更しにくい組み込みシステムに対しても , 外部より MAPE ループを追加することで , 追加機能を実装可能であることが確認できた . 本成果をまとめた論文は , IEEE 主催のコンピュータソフトウェアと応用に関する国際会議 COMPSAC2018 (The 42nd IEEE Computer Software and Applications Conference) にフルペーパーとして採録された (採録率 24%) .

5 . 主な発表論文等

〔 雑誌論文 〕 (計 7 件)

- [1] 松井勝利 , 中川博之 , 土屋達弘 , “ 文書間の類似度に基づいた要求カバレッジ可視化手法 ” , 日本ソフトウェア科学会 学会誌 『 コンピュータソフトウェア 』 , Vol. 35, No. 1, pp. 67-75 (2018.2) .
- [2] 中川博之 , 鄭顕志 , 田原康之 , “ ソフトウェア工学の最前線 ~ ソフトウェアが社会のすべてを定義する時代 ~ : [未来に向かって] IoT 時代の環境適応型ソフトウェア ” , 情報処理 58(8), pp.702-704 (2017.8) .
- [3] 中川博之 , 小林努 , 林晋平 , 吉岡信和 , 鶴林尚靖 , “ ER 2016 参加報告 ” , 日本ソフトウェア科学会 学会誌 『 コンピュータソフトウェア 』 , Vol. 34, No. 3, pp. 75-80 (2017.8) .
- [4] Hiroyuki Nakagawa, Tatsuhiro Tsuchiya, “ A Search-based Constraint Elicitation in Test Design ” , IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E99-D, No. 9, pp. 2229-2238 (2016.9) .

[5] 本田耕三, 平山秀昭, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦, “ゴール指向洗練パターン駆動によるユースケースモデリング”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J99-D, No. 3, pp. 238-254 (2016.3). **(学生論文特集秀逸論文)**

[6] Kazuhiro Tashiro, Takahiro Kawamura, Yuichi Sei, Hiroyuki Nakagawa, Yasuyuki Tahara, Akihiko Ohsuga, “Iterative Improvement of Human Pose Classification using Guide Ontology”, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E99-D, No. 1, pp. 236-247 (2016.1).

[7] 堀田大貴, 本田耕三, 平山秀昭, 清雄一, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦, “リファインメントパターンを利用した KAOS ゴールモデルから BPMN モデルへの変換”, 日本ソフトウェア科学会 学会誌『コンピュータソフトウェア』, Vol. 32, No. 4, pp. 141-160 (2015.11).

[学会発表](計 40 件)

[1] Shinya Tsuchida, Hiroyuki Nakagawa, Emiliano Tramontana, Andrea Fornai, Tatsuhiro Tsuchiya, “A Framework for Updating Functionalities Based on the MAPE Loop Mechanism”, in Proc. of the 42nd IEEE Computer Software and Applications Conference (COMPSAC 2018), (To appear) (Jul 2018).

[2] Hiroyuki Nakagawa, Nobukazu Ishii, Tatsuhiro Tsuchiya, “A Document-based Parameter Correlation Metric for Test Design”, in Proc. of the 30th International Conference on Software Engineering & Knowledge Engineering (SEKE 2018), (To appear) (Jul 2018).

[3] Kazuyuki Higashi, Hiroyuki Nakagawa, Tatsuhiro Tsuchiya, “Improvement of User Reviews Classification Using Keyword Expansion”, in Proc. of the 30th International Conference on Software Engineering & Knowledge Engineering (SEKE 2018), (To appear) (Jul 2018).

[4] 島田裕紀, 中川博之, 土屋達弘, “質問フローに基づくゴールモデル構築手法の提案”, 電子情報通信学会 知能ソフトウェア工学研究会 (SIG-KBSE), 信学技報 KBSE2017-40, pp.7-12 (2018年3月).

[5] 津田宏軌, 中川博之, 土屋達弘, “時間制約を考慮可能な自己適応システム実装フレームワークの検討”, 電子情報通信学会 知能ソフトウェア工学研究会 (SIG-KBSE), 信学技報 KBSE2017-40, pp.121-126 (2018年3月).

[6] 小西達也, 小島英春, 中川博之, 土屋達弘, “焼きなまし法によるロケーティングアレイの生成”, 電子情報通信学会ディペンドブルコンピューティング研究会 (DC), 信学技報 DC2017-82, pp.31-35 (2018年2月).

[7] 土田真也, 中川博之, 土屋達弘, “MAPE ループ構造に基づいた機能更新フレームワークに関する考察”, 電子情報通信学会 知能ソフトウェア工学研究会 (SIG-KBSE), 信学技報 KBSE2017-32, pp.1-6 (2018年1月).

[8] 土田真也, 中川博之, 土屋達弘, “MAPE ループを用いた IoT デバイスの効率的な再利用法の検討”, ウィンターワークショップ 2018・イン・宮島 (WWS2018), pp.74-75 (2018年1月).

[9] 小形真平, 小林一樹, 青木善貴, 中川博之, “TORTE による IoT システムモデリングの実践 ~ 農園画像モニタリングシステムを事例として ~”, ウィンターワークショップ 2018・イン・宮島 (WWS2018), pp.72-73 (2018年1月).

[10] 松井勝利, 中川博之, 土屋達弘, “ばねモデルに基づいた要求カバレッジ可視化ビューアの構築”, ソフトウェア工学の基礎ワークショップ FOSE 2017, pp.43-52 (2017年11月).

[11] Hiroyuki Nakagawa, Toshinobu Hasegawa, Shori Matsui, Tatsuhiro Tsuchiya, “Visualization of Specification Coverage: A Case Study of a Web Application Development in Industry”, in Proc. of the IEEE 28th International Symposium on Software Reliability Engineering (ISSRE 2017), (Industry track), pp.77-80 (Oct 2017).

[12] Hironori Shimada, Hiroyuki Nakagawa, Tatsuhiro Tsuchiya, “Constructing a Goal Model from Requirements Descriptions Based on Extraction Rules”, in Proc. of the 4th Asia Pacific Requirements Engineering Symposium (APRES 2017), pp.175-188 (Nov 2017).

[13] 青木善貴, 小形真平, 中川博之, “STAMP / STPA を用いた Cyber-Physical Systems の検証”, IPA 第 2 回 STAMP ワークショップ (Japanese STAMP Workshop) (2017年11月).

[14] 青木善貴, 小形真平, 中川博之, “IoT システムのアーキテクチャモデルを用いた安全性の検証”, ソフトウェア工学の基礎ワークショップ (FOSE2017) (ポスター発表) (2017年11月).

[15] 小西達也, 小島英春, 中川博之, 土屋達弘, “SAT ソルバを使用したロケーティングアレイの生成手法について”, 電子情報通信学会 システム数理と応用研究会 (SIG-MSS), 信学技報 MSS2017-46, pp.147-152 (2017年11月).

[16] Shinpei Ogata, Hiroyuki Nakagawa, Yoshitaka Aoki, Kazuki Kobayashi, Yuko Fukushima, “A Tool to Edit and Verify IoT System Architecture Model”, in Proc. of the ACM/IEEE 20th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS 2017), (Tools and Demonstrations track),

Satellite Events Volume pp.571-575, 2017 (Sep 2017).

[17] 小形真平, 青木善貴, 中川博之, 小林一樹, 福島祐子, “IoTシステムアーキテクチャのモデリング記法によるモデル検査支援手法の試作と評価”, 電子情報通信学会 知能ソフトウェア工学研究会(SIG-KBSE), 電子情報通信学会 ソフトウェアサイエンス研究会 (SIG-SS), 情報処理学会 ソフトウェア工学研究会 (SIGSE)合同研究発表会, 信学技報 KBSE2017-5, pp.1-6 (2017年7月).

[18] Hiroyuki Nakagawa, Shori Matsui, Tatsuhiro Tsuchiya, “A Visualization of Specification Coverage Based on Document Similarity”, in Proc. of the 39th International Conference on Software Engineering (ICSE 2017), Poster session, Companion Volume pp. 136-138 (May 2017).

[19] Tatsuya Konishi, Hideharu Kojima, Hiroyuki Nakagawa, Tatsuhiro Tsuchiya, “Finding Minimum Locating Arrays Using a SAT Solver”, in Proc. of the 6th International Workshop on Combinatorial Testing (IWCT 2017), Poster session, pp. 276-277 (Mar 2017).

[20] 島田裕紀, 中川博之, 小島英春, 土屋達弘, “抽出ルールに基づいた要求記述からのゴールモデルの構築支援”, 情報処理学会 研究報告ソフトウェア工学 (SE), 2017-SE-195, No.10, pp.1-8 (2017年3月).

[21] 高橋仁, 中川博之, 土屋達弘, “文書中の単語出現頻度を利用したトピックモデル洗練化”, 情報処理学会 研究報告ソフトウェア工学 (SE), 2017-SE-195, No.22, pp.1-8 (2017年3月). (学生研究賞受賞: 高橋仁)

[22] 妙見侑祐, 中川博之, 土屋達弘, “システム環境の変化傾向に基づいた効率的な構成切り替え手法”, 電子情報通信学会 知能ソフトウェア工学研究会(SIG-KBSE), 信学技報 KBSE2016-39, pp.1-6 (2017年3月).

[23] 外山大夢, 中川博之, 小島英春, 土屋達弘, “キャッシュの効率利用による自己適応システムの動的モデル検査法改善”, 電子情報通信学会 知能ソフトウェア工学研究会 (SIG-KBSE), 信学技報 KBSE2016-40, pp.7-12 (2017年3月).

[24] 小形真平, 中川博之, 青木善貴, 小林一樹, “IoTシステムの要求分析支援手法の実現に向けた取り組み ~アクタ関係に注目して~”, ウィンターワークショップ 2017・イン・飛騨高山(2017年1月).

[25] 松井勝利, 中川博之, 土屋達弘, “要求の類似度に基づいたカバレッジ可視化手法の提案”, 第14回ディペンダブルシステムワークショップ DSW 2016, pp.1-6 (2016年12月).

[26] 松井勝利, 中川博之, 土屋達弘, “テスト計画に対する要求カバレッジ可視化手法の提案”, ソフトウェア工学の基礎ワークショップ FOSE 2016, pp.211-216 (2016年12

月). **(貢献賞受賞: 松井勝利)**

[27] 小形真平, 小林一樹, 青木善貴, 中川博之, “Layard: IoTシステムの要求分析におけるアクタ中心のモデル図”, ソフトウェア工学の基礎ワークショップ FOSE 2016, pp.199-204 (2016年12月).

[28] 青木善貴, 小形真平, 小林一樹, 中川博之, “IoTシステムの安全性検証手法の提案”, ソフトウェア工学の基礎ワークショップ(FOSE2016) (ポスター発表) (2016年12月).

[29] Hiroyuki Nakagawa, Kento Ogawa, Tatsuhiro Tsuchiya, “Caching Strategies for Run-time Probabilistic Model Checking”, in Proc. of the 11th International Workshop on Models@run.time (MRT 2016), pp.18-25 (Oct 2016).

[30] Hiroki Tsuda, Hiroyuki Nakagawa, Tatsuhiro Tsuchiya, “A Dynamic Verification Mechanism for Real-time Self-adaptive Systems”, in Proc. of the 10th IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems (SASO 2016) (Poster Session), pp.265-266 (Sep 2016).

[31] 津田宏軌, 中川博之, 土屋達弘, “時間制約を考慮可能な動的検証機能を備えた自己適応システム実装フレームワーク”, 第15回情報科学技術フォーラム(FIT2016), 第1分冊 pp.41-48 (2016年9月). **(FIT奨励賞受賞)**

[32] 高橋仁, 中川博之, 土屋達弘, “トピックモデリングを用いたテストケース記述クラスタリングに関する考察”, 電子情報通信学会 知能ソフトウェア工学研究会 (SIG-KBSE), 信学技報 KBSE2016-01, pp.13-18 (2016年5月).

[33] 小川賢人, 中川博之, 土屋達弘, “大きな振る舞い変更にも適用可能な自己適応システムの動的モデル検査法”, 情報処理学会 研究報告ソフトウェア工学 (SE), 2016-SE-191, No.19, pp.1-8 (2016年3月).

[34] Hiroyuki Nakagawa, Tatsuhiro Tsuchiya, “Towards Automatic Constraints Elicitation of Test Cases: Preliminary Evaluation Based on Collective Intelligence”, in Proc. of the 30th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering Workshop (ASEW 2015), pp. 58-61 (Nov 2015).

[35] Hiroki Tsuda, Hiroyuki Nakagawa, Tatsuhiro Tsuchiya, “Towards Self-Adaptation on Real-World Hardware: a Preliminary Lightweight Programming Framework”, in Proc. of the 9th IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems (SASO 2015) (Demonstrations Session), pp. 176-177 (Sep 2015).

[36] Kento Ogawa, Hiroyuki Nakagawa,

Tatsuhiko Tsuchiya, "An Experimental Evaluation on Runtime Verification of Self-adaptive Systems in the Presence of Uncertain Transition Probabilities", in Proc. of the 2nd Workshop on Formal Verification for Self-* Systems (VERY* 2015), pp. 253-265 (Sep 2015).

[37] 高橋仁, 中川博之, 土屋達弘, "主要語の変遷に着目した要求トピックの洗練化に関する考察", 電子情報通信学会 知能ソフトウェア工学研究会 (SIG-KBSE), 信学技報 KBSE2015-32, pp.27-31 (2015年9月).

[38] Hitoshi Takahashi, Hiroyuki Nakagawa, Tatsuhiko Tsuchiya, "Towards Automatic Requirements Elicitation from Feedback Comments: Extracting Requirements Topics Using LDA", in Proc. of the 27th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE 2015), pp.489-494 (Jul 2015).

[39] Hiroyuki Nakagawa, Tatsuhiko Tsuchiya, "Towards Automatic Constraints Elicitation in Pair-wise Testing Based on a Linguistic Approach: Elicitation Support Using Coupling Strength", in Proc. of the 2nd International Workshop on Requirements Engineering and Testing (RET 2015), co-located with ICSE 2015, pp.34-36 (May 2015).

[40] 津田宏軌, 中川博之, 土屋達弘, "実世界ハードウェアに対する自己適応フレームワークのプロトタイプ実装", 電子情報通信学会 知能ソフトウェア工学研究会 (SIG-KBSE), 信学技報 KBSE2015-7, pp.33-38 (2015年5月).

〔図書〕(計 1件)

[1] 大須賀昭彦, 田原康之, 中川博之, 川村隆浩, "マルチエージェントによる自律ソフトウェア設計・開発 (マルチエージェントシリーズ)", コロナ社(2017).(3章「ゴール指向要求工学」および4章「自己適応システム」執筆)

〔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

<http://www-ise4.ist.osaka-u.ac.jp/~h-nakagawa/index-j.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

中川 博之 (NAKAGAWA, Hiroyuki)

大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授
研究者番号: 40508834

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし

(4)研究協力者
なし