

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

no 平成24年 5月31日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700025

研究課題名（和文） 自己適応システムの要求駆動型プログラミングフレームワークに関する研究

研究課題名（英文） A requirements-driven programming framework for developing self-adaptive systems

研究代表者

中川 博之（NAKAGAWA HIROYUKI）

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・助教

研究者番号：40508834

研究成果の概要（和文）：

本研究では、環境や自身の状態、目的の達成状況に応じてシステム構成を自発的に変化させる自己適応システム（self-adaptive systems）の実装基盤フレームワークの確立を目的とし、要求分析結果から自己適応システムを実装するためのプログラミングフレームワークを検討した。具体的には、自己適応システムに有効な要求記述法を提案し、要求記述結果に応じた、システム構成の決定アルゴリズムを考案した。また、要求記述から抽出されたゴールをシステム上で動的に管理させるフレームワークのプロトタイプを構築した。さらに、これらの成果を開発プロセスとして統合し、2種類の自己適応システム開発実験を通じて、その有効性を評価した。

研究成果の概要（英文）：

This project aimed to establish a development framework for constructing self-adaptive systems. In particular I focused on a programming framework for considering requirements models that self-adaptive systems should manage during run-time, and implemented a prototype of the programming framework. I also conducted construction of two self-adaptive systems as case studies, and evaluated that the framework supported self-adaptive systems construction by providing useful APIs for implementing components constituting control loops.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：コンピュータ科学・ソフトウェア工学

科研費の分科・細目：情報学・ソフトウェア

キーワード：自己適応システム，ソフトウェア工学

## 1. 研究開始当初の背景

ソフトウェアの大規模・複雑化に伴い、環境の変化に対しても人が介在すること無く、動的に環境に適応するソフトウェアが求められるようになっていた。特に大規模サーバ

の管理においては人手による環境の監視は極めて困難化し、グリッドコンピューティングやクラウドコンピューティングにおける資源の最適配分のみならず、ログや故障状態の自律的監視、稼働時の動的な構成変更が局

所的に実現され始めていた。また、ユビキタス環境下のシステムやセキュリティアタックを考慮したシステムに関しても、設計時にすべての環境や攻撃を想定することが困難であることから、変化への動的な適応が強く求められていた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、このように大規模・複雑化するソフトウェアシステムに対し、環境や自身の状態に応じてシステム構成を自発的に変化させる自己適応システム (self-adaptive systems) の実装基盤フレームワークを提供するところにある。その特徴は、自己適応システムに有効な要求分析法・記述法を確立し、また、導出された目的をシステム上で動的に管理させるフレームワークを構築することにより、システムの目的と振る舞い仕様とを関連付け、状況の変化に対しても目的達成のためにコンポーネント構成を動的に変更可能なプログラミングフレームワークを提供することである。本研究により、系統的な構築法がいまだ確立されていない自己適応システムの実現手段を確立させる。

## 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プログラミングフレームワークの実現を目指した。

①(課題1) システム要求 (目的・制約) の記述法および管理メカニズムの構築：自己適応システムは実行時においても、システム要求、つまりシステムの目的や制約を管理し、要求の優先順位や妥協範囲などを考慮して目的・制約間の競合を回避した振る舞いを実現しなければならない。しかし、そのような要求分析法や目的・制約の動的な管理手段およびそれらの連携手段は明らかではなく、自己適応システムに有効な要求記述法と動的な管理手段を提供する必要がある。

②(課題2) 状況に適したシステム構成決定機構の実現：従来システムに対しては、実現に効果的なアーキテクチャやパターンが知られているが、自己適応システムに対しては Kramer, Magee の3層アーキテクチャなどが提案されているものの、状況や目的の達成状況に適したシステム構成、つまりコンポーネ

ントの適切な結合関係の判断は依然容易ではない。自己適応システムの信頼性・頑強性を保証するためにも、各状況に対して適切なシステム構成を動的に決定するメカニズムが必要である。

③(課題3) システム実装基盤の確立：自己適応システムは、環境や自身の状況を監視・分析し、目的・制約を管理しながら自身の構成を変化させる必要がある。今後自己適応システムが普及するためには、これらの機能を効率的に記述できるプログラミングフレームワークの提供が必要である。

(2) サブテーマへの分割：これらの課題に対し、本研究では自己適応システムの実装フレームワーク実現を目的として、以下の4つのサブテーマに分割して研究を進めた。テーマ1～3はそれぞれ、課題1～3に対応し、テーマ4の開発実験により、提案フレームワークの有効性を評価した。

①テーマ1：システム要求 (目的・制約) の記述法および管理メカニズムの構築

自己適応システムに有効な要求記述法と、システム実行時における目的・制約の管理手段を確立する。まず要求間の階層構造記述が可能であるゴール指向の要求記述を利用した自己適応システムに有効な記述言語を設計・定義し、その後、定義した記述言語による要求分析法と、分析結果をシステム上で目的や制約として管理するための管理メカニズムを検討して実装する。

②テーマ2：状況に適したシステム構成決定機構の実現

目的の達成状況や環境に応じたシステム構成の決定法に関する研究を進める。自己適応システムの主流な実現手段であるコンポーネント結合により構成されるシステムを想定し、各コンポーネントに機能・制約を形式仕様で定義しておくことで、状況に応じたコンポーネント結合を決定する。まず、テーマ1で決定したゴール指向要求記述を利用した、最適なシステム構成決定アルゴリズムを検討する。続いて、本アルゴリズムを実装し、システム構成を動的に決定可能な変更管理エンジンを実装する。

③テーマ3：プログラミングフレームワークの実装

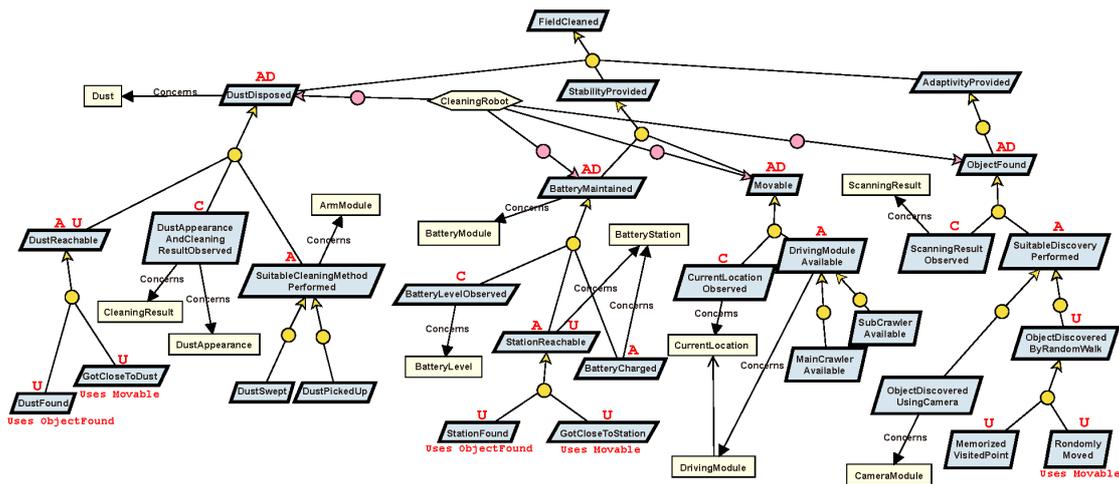


図1. ゴールモデルの例

自己適応システムの実装を支援するプログラミングフレームワークを実装する。提供フレームワークとして、サーバ用の通常版とモバイル端末上で動作させるための軽量版の2種類を構築する。まず自己適応システム実装のために必要とされる状況の監視、分析、変化の決定、変化の実現機能を提供するAPIを検討し、コンポーネント結合を動的に変更できるフレームワークを実装する。その後、テーマ1、2でそれぞれ検討した目的管理メカニズムとシステム構成決定メカニズムを統合する。さらに、ユビキタス環境での利用を想定した軽量版へ拡張する。フレームワークには並列する振舞いの記述、実装が可能なエージェントフレームワークであるJADEを基盤として実装を始める。

④テーマ4：自己適応システム構築実験

テーマ3で構築したフレームワークを利用した、自己適応システム構築の実証実験を実施する。本実証実験では、実際にWebサーバやユビキタス環境を想定したモバイル端末上にプログラムを実装し、様々な環境で動作させることで、実世界を対象とした実装基盤としての有効性を評価する。

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) システム要求(目的・制約)の記述法および管理メカニズムの構築：自己適応システムに有効な要求記述法として、要求間の階層構造記述が可能なゴール指向要求記述(ゴールモデル)に着目し、同モデルにControl loopに基づいた記述制約を導入することで、システム実行時にも参照可能なゴールモデルの記述文法を提案した。図1は同記述文法に基

づいたゴールモデルの記述例であり、赤字のラベルはControl loopに基づいたゴールの分類を示したものである。

(2) 状況に適したシステム構成決定機構の実現：テーマ1で導入した記述文法に従ったゴールモデルを入力とした、自己適応システムの構成(コンフィギュレーション)決定法を検討した。図2は、図1のゴールモデルを入力として生成されるコンフィギュレーションである。本テーマにおいては、同決定法を自動化するゴールモデルコンパイラを実装した[文献：雑誌論文-20]。

(3) プログラミングフレームワークの実装：自己適応システムの構築を支援するプログラミングフレームワークとして、自己適応システム実装のために必要とされるControl loopの各アクティビティに該当する、状況の監視、分析、変化の決定、変化の実現機能を提供するAPIを検討し、コンポーネント結合を動的に変更可能なフレームワークを実装した[文献：雑誌論文-29]。図3は同フレームワークにおけるプログラミングモデルである。

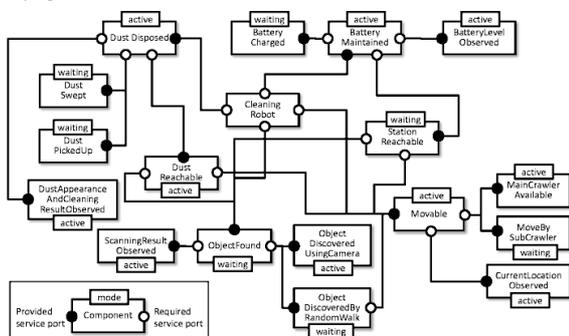


図2. 図1のゴールモデルから決定されるコンフィギュレーション

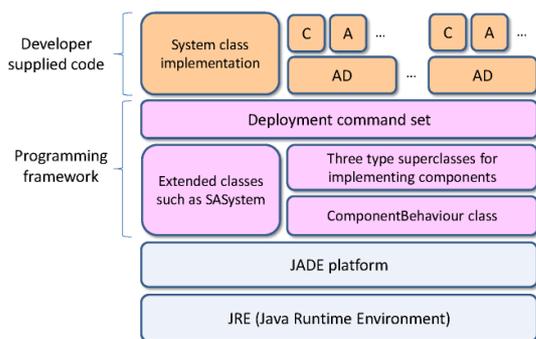


図 3. 提案フレームワークにおけるプログラミングモデル

#### (4) 自己適応システム構築実験：

テーマ 1～3 の各成果を自己適応システムの開発プロセスとして統合し、提案手法の有効性を評価するために実証実験を実施した。実証実験では、自律的な清掃ロボットの開発を想定したシミュレータ上での清掃ロボット構築実験と、実サーバ上での Web サーバ監視システムの 2 種類の開発実験を実施した。本実証実験を通じて、複数 Control loop の構築を支援するという観点から、本研究で検討した開発プロセスとプログラミングフレームワークが、自己適応システムを実現する一つの有効な構築手段を提供することが確認できた。

本研究の成果は、当研究期間において国内論文誌 2 本[文献：雑誌論文-29, 38]に採録されるとともに、自己適応システムの構築手法を扱う国際シンポジウム SEAMS にも採録される[文献：雑誌論文-20]など、海外でも高い評価を得た。今後は、フレームワークの公開を進めるとともに、本成果を基盤とした提案フレームワークの自動化ツールを検討するなど、本研究成果の幅広い活用を目指す。

#### 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 42 件)

- [1] Sombat,C., Honda,K., Nakagawa,H., Tahara,Y., and Ohsuga,A., "Goal-oriented Approach to Creating Class Diagrams with OCL Constraints", ACM Proc. the 27th ACM Symposium On Applied Computing (SAC2012), pp1051-1056 (2012.3).
- [2] Horikoshi,H., Nakagawa,H., Tahara,Y., and Ohsuga,A., "Dynamic Reconfiguration in Self-adaptive Systems Considering Non-functional Properties", ACM Proc. the 27th ACM Symposium On Applied Computing (SAC2012), pp1144-1150 (2012.3).
- [3] 金子 裕司, 中川 博之, 田原 康之, 大須賀 昭彦, "特定ユーザの作曲ログデータと付加情報を用いた作曲支援", インタラクシ ョン 2012/ 情報処理学会 ( INTERACTION-2012 ), pp947-952 , (2012. 3).
- [4] Miyamae,I., Nguyen,T., Kawamura,T., Nakagawa,H., Tahara,Y., and Ohsuga,A., "Building an Earthquake Evacuation Ontology from Twitter", IEEE Proc. IEEE International Conference on Granular Computing (GrC2011), pp306-311 (2011.11).
- [5] 住元宗一郎, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦, "コンテンツ投稿型 SNS における未知性と意外性を考慮した推薦エージェントの提案", 電子情報通信学会論文誌, vol. J94-D , No. 11 , pp1800-1811 (2011. 11).
- [6] 三代謙仁, 川村隆浩, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦, "携帯端末上での拡張現実を用いた植物推薦エージェント Green-Thumb Phone の開発", 電子情報通信学会論文誌, vol. J94-D , No. 11 , pp1791-1799 (2011. 11).
- [7] 川村隆浩, ワコラ, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦, "インタラクシ ョン・シーケンスに着目した商品検索目的抽出エージェントの開発", 電子情報通信学会論文誌, vol. J94-D , No. 11 , pp1783-1790 (2011. 11).
- [8] 橋本和幸, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦, "センチメント分析とトピック抽出によるマイクロブログからの評判傾向抽出", 電子情報通信学会論文誌, vol. J94-D , No. 11 , pp1762-1772 (2011. 11).
- [9] 田中俊行, ゲンミンティ, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦, "評判分析システムのための教師あり学習を用いた意見抽出", 電子情報通信学会論文誌, vol. J94-D , No. 11 , pp1751-1761 (2011. 11).
- [10] Sombat,C., Honda,K., Nakagawa,H., Tahara,Y., and Ohsuga,A., "Support for Generating UML Class Diagrams and OCL Constraints from KAOS Model", ソフトウェア工学の基礎ワークショップ FOSE 2011/日本ソフトウェア科学会, pp157-162 (2011. 11).
- [11] 堀越永幸, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦, "非機能特性を考慮した自己適応システムの動的再構成手法の提案", ソフトウェア工学の基礎ワークショップ FOSE 2011/日本ソフトウェア科学会, pp139-144 (2011. 11).
- [12] 吉池弘樹, 本田耕三, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦, "モデル検査のためのオブジェクト制約言語を用いた外部環境モデルの構築のための考察", ソフトウェア工学の基礎ワークショップ FOSE 2011/日本ソフトウェア科学会, pp109-114 (2011. 11).
- [13] Girier,Y., Honda,K., Nakagawa,H., Tahara,Y., and Ohsuga,A., "Visual-K: A

- Prototype for a Visualization Tool Modeling Goal-Oriented RE Methodology KAOS", Proc. The 2nd International Conference on Measurement and Control Engineering (ICMCE 2011) pp315-326 (2011.10)
- [14]伊藤 雅博, ゲンミンテイ, 川村隆浩, 中川博之, 田原康之, 大須賀 昭彦, "震災時の効率的な避難のための行動推薦エージェント Ready for 87%の提案 (3) ~行動ネットワークを用いた避難行動の推薦~, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2011 (JAWS-2011) 論文集, pp1-8, (2011.10).
- [15]ゲンミンテイ, 越川 兼地, 川村隆浩, 中川博之, 田原康之, 大須賀 昭彦, "震災時の効率的な避難のための行動推薦エージェント Ready for 87%の提案 (2) ~時系列避難行動ネットワークの構築~, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2011 (JAWS-2011) 論文集, pp1-8, (2011.10).
- [16]ミヤマエ イワナガ イサベル シズ, ゲンミンテイ, 川村隆浩, 中川博之, 田原康之, 大須賀 昭彦, "震災時の効率的な避難のための行動推薦エージェント Ready for 87%の提案 (1) ~避難計画オンロジーの設計~, 合同エージェントワークショップ & シンポジウム 2011 (JAWS-2011) 論文集, pp1-8, (2011.10).
- [17]全 泰賢, 川村隆浩, 中川博之, 田原康之, 大須賀 昭彦, "服飾系 EC サイトにおける商品閲覧履歴に基づいたデザイン嗜好の推定と商品検索システムの提案", 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2011 (JAWS-2011) 論文集, pp1-8, (2011.10).
- [18]石野 克徳, 折原 良平, 中川博之, 田原康之, 大須賀 昭彦, "フォークソノミーとソーシャルアノテーションを用いた動画シーンへのラベリング", 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2011 (JAWS-2011) 論文集, pp1-8, (2011.10).
- [19]金子 裕司, 中川博之, 田原康之, 大須賀 昭彦, "作曲特徴を用いた作曲支援システムの実現に向けて", 第 19 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS-2011), pp170-172, (2011.9).
- [20]Nakagawa,H., Ohsuga,A., Honiden,S., "gocc: A Configuration Compiler for Self-adaptive Systems Using Goal-oriented Requirements Description", Proc. The 6th International Symposium on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems (SEAMS 2011), ICSE2011, pp40-49 (2011.4).
- [21]Nakagawa, H., Yoshioka, N., Ohsuga, A., and Honiden, S., "IMPULSE: a Design Framework for Multi-Agent Systems Based on Model Transformation", ACM Proc. of the 26th Symposium On Applied Computing (SAC2011), pp1416-1423 (2011.3).
- [22]田中 俊行, ゲンミンテイ, 中川博之, 田原康之, 大須賀 昭彦, "シーソー型インタフェースを用いた評判比較システムの開発", インタラクシオン 2011/情報処理学会, pp479-482 (2011.3).
- [23]三代 謙仁, 川村隆浩, 中川博之, 田原康之, 大須賀 昭彦, "スマートフォン向け植物推薦サービス Green-Thumb Phone の開発 ~モバイルセンサーと拡張現実を用いた植栽環境との調和性推定~, インタラクシオン 2011/情報処理学会, pp449-452 (2011.3).
- [24]ワ コラ, 川村隆浩, 中川博之, 田原康之, 大須賀 昭彦, "インタラクシオン・シーケンスに着目したユーザの商品検索の目的の抽出に関する検討と実装", インタラクシオン 2011/情報処理学会, pp577-580 (2011.3).
- [25]住元 宗一郎, 中川博之, 田原康之, 大須賀 昭彦, "未知性と意外性を考慮したイラスト推薦システムの提案: 3D 表示を用いたイラスト推薦インタフェース", インタラクシオン 2011/情報処理学会, pp519-522 (2011.3).
- [26]川村隆浩, 沈偉, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦, "オントロジー構築サービス ONTOMO の開発 -固有名詞抽出によるインスタンスとプロパティ自動推薦エージェントの評価-", 人工知能学会論文誌, vol. 26, No. 1, pp116-126 (2011.1).
- [27]西村一彦, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦, "自律システム実現に向けたアーキテクチャの構築", 人工知能学会論文誌, vol. 26, No. 1, No. 1, pp107-115 (2011.1).
- [28]ゲンミンテイ, 川村隆浩, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦, "条件付確率場と自己教師あり学習を用いた行動属性の自動抽出と評価", 人工知能学会論文誌, vol. 26, No. 1, pp166-178 (2011.1).
- [29]中川博之, 大須賀昭彦, 本位田真一: ビヘイビア記述に基づく自己適応システム実装フレームワークの提案, 人工知能学会論文誌, Vol. 26, No. 1, pp116-126 (2011.1).
- [30]Nakagawa,H., Yoshioka,N., Ohsuga,A., and Honiden,S., "A Framework for Validating Task Assignment in Multi-agent Systems using Requirements Importance", Proc. the 13th International Conference on Principles of Practice in Multi-Agent Systems (PRIMA2010), pp207-214, (2010.11).
- [31]本田耕三, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦, "ケーススタディ: KAOS/UML モデリング", ソフトウェア工学の基礎ワークショップ FOSE 2010/日本ソフトウェア科学会, pp155-160 (2010.11).
- [32]三代 謙仁, 川村隆浩, 中川博之, 田

- 原 康之, 大須賀 昭彦, "携帯端末上での拡張現実を用いた植物推薦エージェント Green-ThumbPhone の開発", 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2010 (JAWS-2010) / 日本ソフトウェア科学会, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 人工知能学会 共催, pp1-8, (2010.10).
- [33] 住元 宗一郎, 中川 博之, 田原 康之, 大須賀 昭彦, "コンテンツ投稿型 SNS における未知性と意外性を考慮した推薦エージェントの提案", 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2010 (JAWS-2010) / 日本ソフトウェア科学会, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 人工知能学会 共催, pp1-6, (2010.10).
- [34] 橋本 和幸, 中川 博之, 田原 康之, 大須賀 昭彦, "マイクロブログを用いた評判傾向抽出法の提案", 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2010 (JAWS-2010) / 日本ソフトウェア科学会, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 人工知能学会 共催, pp1-6, (2010.10).
- [35] 佐藤 大輔, 中川 博之, 田原 康之, 大須賀 昭彦, "閲覧中のニュース記事に対するブログの主張を提示するシステムの提案", 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2010 (JAWS-2010) / 日本ソフトウェア科学会, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 人工知能学会 共催, pp1-6, (2010.10).
- [36] 田中 俊行, ゲンミンティ, 中川 博之, 田原 康之, 大須賀 昭彦, "教師あり学習を用いたレビューサイトからの意見抽出", 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2010 (JAWS-2010) / 日本ソフトウェア科学会, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 人工知能学会 共催, pp1-8, (2010.10).
- [37] Kawamura,T., Shin,I., Nakagawa,H., Tahara,Y., and Ohsuga,A., "ONTOMO: Web Service for Ontology Building - Evaluation of Ontology Recommendation using Named Entity Extraction", Proc. IADIS International Conference WWW/INTERNET 2010 (ICWI 2010), pp101-111(2010.10).
- [38] 中川博之, 大須賀昭彦, 本位田真一, "プロセス間競合を考慮した自己適応システムの形式仕様構築", 情報処理学会論文誌, vol. 51, No. 9, pp1751-1764(2010.9).
- [39] Tahara,Y., Tago,A., Nakagawa,H., and Ohsuga,A., "NicoScene: Video Scene Search by Keywords based on Social Annotation", Proc. 6th International Conference on Active Media Technology (AMT2010), pp461-474(2010.8).
- [40] Nguyen,M.T., Kawamura,T., Nakagawa,H., Tahara,H., Ohsuga,A., "Automatic Mining of Human Activity Attributes from Weblogs", IEEE Proc. 9th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS2010), pp633-644(2010.8).
- [41] Nguyen,M.T., Kawamura,T., Nakagawa,H., Tahara,H., Ohsuga,A., "Automatic Mining of Human Activity and Its Relationships from CGM", Proc. 5th International Conference on Software and Data Technologies (ICSFT2010), pp285-292(2010.7).
- [42] Nakagawa,H., Ohsuga,A., and Honiden,S., Cooperative Behaviors Description for Self-\* Systems Implementation, in Proc. of the 8th International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems (PAAMS 10), Salamanca, Spain (2010.4), pp.69-74.
- [学会発表] (計 4 件)
- [1] 藤原誠, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦, "タグクラスタ多様化による未知性を考慮した推薦手法の提案", 情報処理学会「知能システム」研究会 SIG-ICS, 名古屋大学 (2012.3.21).
- [2] 全泰賢, 川村隆浩, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦, "服飾オントロジーを用いた EC サイトにおけるユーザデザイン嗜好の推定と評価", セマンティックウェブとオントロジー研究会 SIG-SWO, 慶應義塾大学 (2011.12.14).
- [3] 堀越永幸, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦, "アーキテクチャ記述言語を用いた自己適応システム設計手法の検討", 情報処理学会 研究報告ソフトウェア工学 (SE), 2011-SE-172, No. 8, pp1-8, 早稲田大学 (2011.5.18).
- [4] ジリエ陽子, 本田耕三, 中川博之, 田原康之, 大須賀昭彦, "Visual-K: ゴール指向要求分析手法 KAOS のモデリング可視化支援ツールの試作", 情報処理学会 研究報告ソフトウェア工学(SE), 2011-SE-171, No. 29, pp1-7, 早稲田大学 (2011.5.18).
- [その他]  
ホームページ等  
<http://kjk.office.uec.ac.jp/Profiles/0004/0005410/profile.html>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
中川 博之 (NAKAGAWA HIROYUKI)  
電気通信大学・大学院情報システム学研究科・助教  
研究者番号: 40508834
- (2) 研究分担者  
なし
- (3) 連携研究者  
なし