

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 22 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21700077

研究課題名（和文） サービス競合を考慮したユビキタスサービスの安全性保証に関する研究

研究課題名（英文） Guaranteeing Safety of Ubiquitous Services with Feature Interactions

研究代表者

中村 匡秀 (NAKAMURA MASAHIDE)

神戸大学・大学院システム情報学研究所・准教授

研究者番号：30324859

研究成果の概要（和文）：本研究では、ユビキタスネットワークで提供されるサービスの安全性を保証するための体系的な枠組みの技術開発を行った。また、個々の単体サービスの安全性のみならず、複数のサービス間で発生するサービス競合問題を考慮に入れた手法の開発を目指した。研究成果として、ユビキタスサービスの安全性定式化・検証フレームワーク、ホームネットワークを対象としたサービス競合検出手法、環境インパクトを用いた環境競合の定式化、サービス連鎖検出手法、安全性を考慮したユビキタスサービス・アプリケーションの開発等が得られた。これらの成果を 22 件の論文、44 件の学会発表にて公表した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we have studied a systematic framework for assuring safety of ubiquitous network services. In addition to the safety of individual services, we also take the feature interaction problem among multiple services into account. Our contributions include; the formalization and validation framework of the safety, feature interaction detection for home network services, definition of environment feature interactions with the impact model, service chain detection method, development of practical services and applications. These achievements have been published as 22 papers and 44 oral presentations.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：ユビキタスサービス、安全性、サービス競合、サービス連鎖、競合検出・解消、ホームネットワークシステム

## 1. 研究開始当初の背景

## 1. 1 ユビキタスネットワーク

様々な情報コンテンツやサービスを「いつでもどこでも何にでも」利用・提供可能とするユビキタスネットワークの研究開発が盛

んである。PCや携帯電話等の従来の通信端末機器に加え、家電、センサ、ドア、テーブル、椅子、自動車、ロボット、衣類、装飾品、広告・看板等、身の回りのあらゆる「モノ」がネットワークに接続され、用途に応じた情報通信によって便利な機能を提供するよう

になると考えられている。

ユビキタスネットワークでは、これらのモノの機能や情報資源を自由に組み合わせることで、様々な付加価値サービス（ユビキタスサービスと呼ぶ）を実現できると期待されている。例えば、温度計、湿度計、給湯システム、自動水栓、照明、エアコン、時計、天気情報をネットワーク越しに連携し、その日に最適な入浴環境を自動で準備する「快適お風呂サービス」が考えられる。将来的にモノが高知能化すると、その場その場の状況（コンテキスト）に応じてモノが自律連携し、ユビキタスサービスが自動的に生成・提供される時代が来ると考えられている。

### 1. 2 ユビキタスサービスの安全性

ユビキタスサービスは身の回りのモノを利用して実現されるため、従来の情報サービスに比べて、利用者や環境に対してより直接的・物理的な付加価値を提供できる。その一方で、利用者や環境に対する安全を保証することは、以前にもまして重要となってくる。例えば、上記の快適お風呂サービスは、シャワー利用中の熱湯吐出、ユーザが想定しない湯温設定、ガス漏れ、部屋への水溢れ、湿気による漏電、定格電力超過、旅行中の無駄な給湯といった様々なリスクを考慮に入れた上で、安全に提供されなければならない。

従来からモノ（機器）個別の「安全の手引き」は存在していた。しかし、それらを組み合わせ合わせたサービス全体としてのリスク、さらにモノの組み合わせが環境に与えるリスクも併せて考慮していかなければならない。ユビキタスサービスの安全性の保証は、安全・安心なユビキタス社会の実現において避けられない重要課題である。

### 1. 3 サービス競合問題

個々のユビキタスサービスが安全であっても、複数のサービスを同時に使用すると機能的な衝突が生じ、安全が損なわれるケースが考えられる。このサービスの衝突は、一般にサービス競合（Feature Interactions）として知られている。

例えば、火災時に全てのドアや窓を開放し非難口を確保する「火災非難サービス」と、携帯電話等で外出先からドアを確認・施錠する「遠隔戸締りサービス」は、同時に使用すると火災時に宅内に閉じ込められるという事故につながる。ユビキタスサービスのトータルな安全性を保証するためには、サービス競合問題の解決は不可欠である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、ユビキタスネットワークで提供されるサービスの安全性を保証するための体系的な枠組みを提案することであ

る。また、個々の単体サービスの安全性のみならず、複数のサービス間で発生するサービス競合問題を考慮に入れた枠組みの開発を目指した。具体的には、研究期間内に以下の4つを達成することを目的とした。

#### (1) ユビキタスサービスにおける安全性の定式化

様々なサービスの実用例を分析し、ユビキタスサービスにおける安全性を厳密に定義する。ユビキタスサービスの特性である「モノ同士の連携」および「環境への影響」を考慮に入れる。

#### (2) 安全性性質の導出手法の開発

安全を保証するために、各サービスが満たすべき性質（安全性性質と呼ぶ）を体系的に導出する手法を提案する。正確かつ完全な安全性性質を導出することを目指す。

#### (3) サービス競合検出を考慮したオフライン安全性検証手法の開発

サービスが安全性性質を充足するかどうかを、システムに配備する前にオフラインで検証する手法を開発する。検証においては、潜在的な全てのサービス競合をオフラインで検出する。

#### (4) サービス競合解消を考慮したオンライン安全性監視技術の開発

検証されたサービスがシステムに配備された後、オンライン監視によってサービスの安全を見守る手法を開発する。監視中に発生したサービス競合をオンラインで解消する手法も提案する。

### 3. 研究の方法

上記目的を達成するために、3年間の研究期間において、以下の(a)～(e)の方法で研究を進めた。

#### 3. 1 2009年度

##### (a) ユビキタスサービスの安全性の定式化

様々なサービスの実用例を分析し、ユビキタスサービスにおける安全性の定式化を行った。ユビキタスサービスの特性である「モノ同士の連携」および「環境への影響」を考慮した。その結果、サービスの安全性を以下の3種類で定義することができた。

ローカル安全性：モノそれぞれに閉じた安全性。モノを単体で安全に使用するための性質。

グローバル安全性：複数のモノにまたがる安全性。複数のモノを連携したサービスを安全に使用するための性質。

環境安全性：サービスが提供される環境で

守らなければならない安全性。モノやサービスの内容に依存しない。

#### (b) ユビキタスサービスにおけるサービス競合検出・解消法の考察

複数のユビキタスサービス間の競合問題を定式化し、サービス競合を検出・解消するための理論の考察を行った。その結果、以下の2種類のサービス競合が重要であることがわかった。

機器競合：ユビキタスネットワーク上の同一の機器(資源)上で発生する直接的な競合

環境競合：ユビキタスネットワーク上の環境を解して発生する間接的な競合

予備実験として、提案法をホームネットワークシステムにおける連携サービスに適用して評価を行い、有効性の確認を行った。

### 3. 2 2010年度

#### (c) サービス競合につながるサービス連鎖のオフライン検出手法の開発

ユビキタスサービスは様々な環境情報を状態をトリガとして実行される。具体的には、気温や在室状況等の環境情報をセンサで検知し、状況に応じたユビキタスサービスを実行する。あるユビキタスサービスが実行された結果、別のユビキタスサービスの実行条件に影響を与えて、2つのサービスが立て続けに実行されるという現象が生じる。これをサービス連鎖と呼ぶ。

サービス連鎖は、思いがけないサービス競合を生み、ユビキタスサービスの安全性を阻害する可能性があるため、事前に検出しておく必要がある。

そこで、2009年度に提案したユビキタスサービスのモデルに基づき、任意の2サービス間のサービス連鎖をオフラインで自動検出手法を開発した。具体的には、あるサービスが実行されたときの環境への影響と、別のサービスの実行条件との重なりを分析することで、サービス連鎖が起こる可能性とそのときの具体的な発生条件を導出する。

### 3. 3 2011年度

#### (d) サービス連鎖の安全性評価手法とサービス競合検出手法の提案

ユビキタスサービスは、センサで計測される様々な環境状態をトリガとして実行される。したがって、サービス Sa が実行された結果、別のサービス Sb の実行条件に影響を与え、2つのサービスが立続けに実行されるサービス連鎖 (Sa⇒Sb と書く) という現象が生じる。サービス連鎖はサービスの安全性を阻害する可能性があるが、すべてのサービス連鎖が有害であるとは限らない。

そこで本年度は、検出されたサービス連鎖

の深刻度を評価する手法を提案し、サービス連鎖によって安全性に影響を与えるサービス競合が発生するかどうかを、検出する手法を開発・実装した。具体的には、あるサービス Sa が単独で実行された(期待された)状態 Ta と、サービス連鎖 Sa⇒Sb が起こってしまった(実際の)状態 Tb を比較し、両状態の乖離度を求める。Ta と Tb の乖離度が一定の閾値を超えた場合に、有害な Sa⇒Sb サービス競合を生ずると判定する。

#### (e) サービス連鎖・競合の検出・監視システムの開発と実験的評価

開発した手法を、ホームネットワーク向けユビキタスサービスに適用し、サービス連鎖およびサービス競合をオフラインで検出するシステムを試作した。また、我々の研究グループで開発しているホームネットワークシステムに実装し、連鎖・競合をオンラインで監視するシステムを試作している。6つの実サービスでの競合検出実験では、11個のサービス連鎖および6個のサービス競合を検出できた。

## 4. 研究成果

本研究によって、以下の成果が得られた。

### 4. 1 ユビキタスサービスの安全性の定式化と検証フレームワーク

ユビキタスネットワークにおける単体サービスを厳密に検証する枠組みを提案した。具体的には、ユビキタスネットワークに接続される各機器を、プロパティとメソッドから構成されるオブジェクトとしてモデル化し、サービスを機器メソッドの実行ロジックを規定するアプリケーションプログラムとしてモデル化する手法を提案した。

またモデル化されたシステム、およびサービスが、与えられた性質を満足するかどうかを形式的に自動検証する枠組みを提案した。具体的な適用例として、ホームネットワークシステムとそのサービスを対象とした。サービス検証においては、JML による契約設計手法 (Design by Contract) に基づいてサービスの様々な性質 (安全性、セキュリティ、機能要求) を記述し、組み合わせテスト技法により自動検査する。

雑誌論文 [11][13]

### 4. 2 ホームネットワークを対象としたサービス競合検出手法

代表的なユビキタスサービスとして、ホームネットワークサービス (HNS) を取り上げ、HNS のためのサービス競合をモデル化・検出する手法を提案した。具体的には、4. 1 で

述べたサービスモデル化手法に基づき、HNSの各機器、サービスをモデル化した。サービス競合は、異なるサービスによって実行される機器メソッドの要求が相容れないとき、競合であると定義した。また、同一機器上で発生する直接的なメソッドの衝突を**機器競合**、異なる機器間で環境を通じた間接的なメソッドの競合を**環境競合**と定義し、それぞれの検出アルゴリズムを開発した。

また、検出した競合を解消するための方式を検討した。サービスに単純な優先順位を用いて、競合の際には優先度の低いサービスを強制終了する方式を実装したが、実用上様々な問題点があることがわかった。そのため、サービスの明示的な実行期間であるアクチベーション、サービスの核となる振る舞いを規定する必須メソッド、競合解消において低優先度サービスの実行を保証する中断・再開処理という3つの新しい概念を織り込み、より高品質な競合検出・解消法を実現した。この成果を以下の外部発表にまとめた。

雑誌論文 [10][12]  
学会発表 [11]

#### 4. 3 環境インパクトを用いた環境競合の再定式化

より現実に即した環境競合をモデル化するために、4. 2で述べた環境競合のモデルを拡張して、再定式化を行った。4. 2で述べた環境競合は、(P1) サービスの要求を考慮していない、(P2) 表現できる環境プロパティが少ないという問題点があった。

そこで、機器が環境に与える影響(環境インパクト)を厳密に表現する「環境インパクトモデル」を定義し、サービス環境要求に基づいた環境競合の再定式化を行った。

ケーススタディでは、新たな環境競合の定義は、先行研究においてみられた環境競合の過検出を防ぎ、既存の環境プロパティや、コンテンツに関する環境競合の記述能力を大きく向上させることが確認された。

雑誌論文 [7]  
学会発表 [4][10]

#### 4. 4 センサ駆動サービスにおけるサービス連鎖のモデル化と検出手法

4. 2で述べたサービス競合検出手法は、あくまでサービスは人手で起動されることが想定されていた。しかしながら、ユビキタスサービスは、環境に設置されたセンサをトリガとして、自立的にサービスが起動する。したがって、3章(e)で述べたように、あるサービスの実行結果が、他のサービスを連鎖的に誘発する「サービス連鎖」という新たな問題が生まれる。

サービス連鎖は複数のサービスを連続して起動することから、センサ駆動サービスにおけるサービス競合の主要な原因となる。そのため、サービス連鎖を検出する枠組みが必要となる。また、全てのサービス連鎖が深刻なサービス競合につながるとは限らない。

そこで本研究では、サービスをイベント・コンディション・アクション (ECA) ルールで記述する方法を提案し、与えられたサービスの中に、サービス連鎖が発生するかどうかを検証する手法を提案した。また、連鎖が発生する具体的な事前条件を導出する方法を示した。

雑誌論文 [3][5]  
学会発表 [6][8][9]

#### 4. 5 安全性を考慮したユビキタスサービス・アプリケーションの開発

提案手法の適用対象として、様々なユビキタスサービス・アプリケーションの開発を行った。以下に具体的な開発成果物と、関連発表文献との対応を述べる。

- ・ホームネットワークにおける連携サービス  
ホームネットワーク内の様々な機器や情報を連携し、付加価値サービスを実現する方式、アプリケーションの開発を行った。連携においては、個々のサービスの安全性、および、複数サービス間の競合問題に注意する必要がある、当該研究の成果を活用した。

雑誌論文 [4][6]  
学会発表 [1][2]

- ・エネルギーの可視化・省エネサービス  
エネルギーの消費実態を可視化し、省エネにつなげるサービスの枠組みを提案した。エネルギーの使用と安全性の関係について、当該研究の成果を参考にした。

雑誌論文 [2][9]  
学会発表 [3][5][7]

- ・ライフログサービスの連携・統合  
ライフログは人間の様々な生活行動をデジタル情報として記録する活動である。様々な種類のライフログを連携・統合することで、より付加価値の高い情報が得られるが、同時にサービス競合の問題を考慮する必要がある。異種ライフログの統合について、当該研究の成果を参考にした。

雑誌論文 [1][8]

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計13件)(総計22件)

※以下, すべて査読あり論文.

[1] まつ本 真佑, 下條 彰, 鎌田 早織, 中村 匡秀, ``異種ライフログ統合のための標準データモデルとマッシュアップ API,`` 電子情報通信学会論文誌, vol. J95-D, no. 4, 58-768, April 2012.

[2] 井垣 宏, 瀬戸 英晴, 福田将之, まつ本真佑, 中村 匡秀, ``家庭における省エネ促進のための電力消費振り返りサービスの実装と評価,`` 電子情報通信学会論文誌, vol. D, no. 4, pp. 778-789, April 2012.

[3] Takuya Inada, Kousuke Ikegami, Matsumoto Shinsuke, Masahide Nakamura, and Hiroshi Igaki, ``On Detecting Service Chains in Sensor-Driven Home Networks,`` In International Workshop on Sensor Networks and Ambient Intelligence (SeNAmI 2012), pp. 859-864, 2012.

[4] Hideharu Seto, Masahide Nakamura, and Shinsuke Matsumoto, ``Ubi-Regi: Service Registry for Discovering Service Resources in Ubiquitous Network,`` In 13th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS2011), pp. 395-398, December 2011.

[5] Masahide Nakamura, Shuhei Matsuo, Shinsuke Matsumoto, Hiroyuki Sakamoto, and Hiroshi Igaki, ``Application Framework for Efficient Development of or as a Service for Home Network System,`` In the 8th IEEE 2011 International Conference on Services Computing (SCC 2011), pp. 576-583, July 2011. (Washington D. C.)

[6] Koichi Egami, Shinsuke Matsumoto, and Masahide Nakamura, ``Ubiquitous Cloud: Managing Service Resources for Adaptive Ubiquitous Computing,`` In 1st PerCom Workshop on Pervasive Communities and Service Clouds (PerCoSC2011), pp. 449-454, March 2011. (Seattle, USA)

[7] Kousuke Ikegami, Shinsuke Matsumoto, and Masahide Nakamura, ``New Definition of Environment Feature Interactions in Home Network System,`` In Workshop Dependability of Network Software Applications 2010 (DNSA 2010), November 2010. (Hiroshima, Japan)

[8] Akira Shimojo, Saori Kamada, Shinsuke Matsumoto, and Masahide Nakamura, ``On Integrating Heterogeneous Lifelog Services,`` In The 12th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS2010), pp. 261-268, November 2010. (Paris, France)

[9] Takenori Okamura, Masahide Nakamura, and Hiroshi Igaki, ``Finding Optimal Energy-Saving Operations in Home Network System Based on Effects between Appliances and Environment,`` In Proc. of 8th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT2010), vol. CDROM, June 2010. (Kuching, Malaysia)

[10] Hiroshi Igaki and Masahide Nakamura, ``Modeling and Detecting Feature Interactions among Integrated Services of Home Network Systems,`` IEICE Trans. on Information and Systems, vol. E93-D, no. 4, pp. 822-833, April 2010.

[11] Lydie du-Bousquet, Masahide Nakamura, Ben Yan, and Hiroshi Igaki, ``Using Formal Methods to Increase Confidence in a Home Network System Implementation: Case Study,`` Innovations in Systems and Software Engineering (ISSE Journal), Springer, vol. 5, no. 3, pp. 181-196, September 2009.

[12] Masahide Nakamura, Hiroshi Igaki, Yuhei Yoshimura, and Kousuke Ikegami, ``Considering Online Feature Interaction Detection and Resolution for Integrated Services in Home Network System,`` In 10th International Conference on Feature Interactions in Telecommunications and Software Systems (ICFI2009), pp. 191-206, June 2009. (Lisbon, Portugal)

[13] Ben Yan, Masahide Nakamura, Lydie du Bousquet, and Ken-ichi Matsumoto, ``Improving Reusability of Hazard Analysis Model with Hazard Template for Deriving Safety Properties of Home Network System,`` International Journal of Smart Home, vol. 3, no. 2, pp. 71-88, April 2009.

〔学会発表〕(計11件)(総計44件)  
※以下、すべて査読なし発表。

[1] 山本 晋太郎, 瀬戸 英晴, 松本 真佑, 中村 匡秀, ``スマートシティにおける大規模住宅ログの収集・活用プラットフォームの検討,`` 電子情報通信学会技術研究報告, 111, no. 470, pp. 207-212, March 2012.

[2] 徳田 啓介, 稲田 卓也, まつ本 真佑, 中村 匡秀, ``ホームネットワークシステムにおけるパーソナルリモコン作成実験,`` 電子情報通信学会技術研究報告 SS2011-70, 111, no. 481, pp. 79-84, March 2012.

[3] 瀬戸英晴, 松本真佑, 中村匡秀, ``ホームネットワークシステムにおける デバイス状態ログマイニングのためのサービス指向プラットフォーム,`` 電子情報通信学会技術報告 CPSY2011-36, vol. 111, no. 255, pp. 73-78, October 2011.

[4] 池上 弘祐, 稲田 卓也, まつ本 真佑, 中村 匡秀, ``ホームネットワークシステムにおける環境インパクトの性質を考慮した環境競合の再定式化,`` 電子情報通信学会研究報告, vol. 111, no. 255, pp. 67-72, October 2011.

[5] 岡村 雄敬, 中村 匡秀, まつ本 真佑, ``嗜好アンケートに基づく個人適応型省エネ行動推薦手法の検討 ~家庭における空調サービスへの適用~,`` 電子情報通信学会報告 IN2011-63, vol. 111, no. 146, pp. 105-110, July 2011.

[6] 稲田 卓也, 池上 弘祐, まつ本 真佑, 中村 匡秀, 井垣 宏, ``センサ駆動連携サービスのための連鎖検出手法の検討,`` 電子情報通信学会技術研究報告 SS2010-53, 110, no. 458, pp. 1-6, March 2011.

[7] 北岡 賢人, 瀬戸 英晴, まつ本 真佑, 中村 匡秀, ``ホームネットワークシステムにおける機器状態ログからのエネルギー浪費行動の検出,`` 電子情報通信学会技術報告, vol. 110, no. 450, pp. 037-042, 2011.

[8] 稲田 卓也, 池上 弘祐, まつ本 真佑, 中村 匡秀, 井垣 宏, ``センサ駆動連携サービスのためのサービス競合検出手法に関する検討,`` , no. 信学技報, vol. 110, no. , AI2010-15, 電子情報通信学会, August 2010.

[9] 稲田 卓也, 吉村 悠平, 池上 弘祐, 井垣 宏, 中村 匡秀, 中北 賢二, 竹原 清

隆, ``サービス競合検出・解消システムを用いたホームネットワーク連携サービスの開発, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. IEICE-109, no. IEICE-SS-456, pp. 25-30, March 2010.

[10] 池上 弘祐, 井垣 宏, 中村 匡秀, ``ホームネットワークシステムにおけるサービス要求を考慮した環境競合検出法,`` 電子情報通信学会技術報告, vol. 109, no. 327, 53-058, December 2009.

[11] 吉村 悠平, 稲田 卓也, 井垣 宏, 中村 匡秀, ``SOAにもとづくホームネットワーク サービス競合検出・解消基盤の提案,`` 情報処理学会研究報告, vol. 2009-SE-166, , November 2009.

〔図書〕(計2件)

[1] Masahide Nakamura, Hiroshi Igaki, Akihiro Tanaka, Haruaki Tamada, and Ken-ichi Matsumoto, Service-Oriented Architecture for Migrating Legacy Home Appliances to Home Network System ~ Principle and Applications ~, IGI Global, 2010.

[2] Masahide Nakamura and Stephan Reiff-Marganiec, Feature Interactions in Software and Communication Systems X, IOS Press, 2009.

〔その他〕

上記の発表論文は、以下より取得可能である。  
※ CS27 業績リスト  
<http://www27.cs.kobe-u.ac.jp/achieve/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中村 匡秀 (NAKAMURA MASAhide)  
神戸大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：30324859

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし