

平成21年 5月21日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18700062

研究課題名 (和文) ユビキタスネットワークにおけるサービス競合問題に関する研究

研究課題名 (英文) Research on Feature Interactions in Ubiquitous Network

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

**研究成果の概要：**

本研究では、ユビキタスネットワークにおける複数のサービス間の機能衝突であるサービス競合問題に焦点をあて、競合問題の形式化、検出方式、解消方式、評価に関する研究を行った。また、ユビキタスアプリケーションの一つである、ホームネットワークシステムを実際に開発し、実システム上でホームネットワークサービスの競合検出、解消方式を実装、評価を行った。一連の研究成果を、論文誌、国際会議、研究会を含め、45編の論文にまとめ発表した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,100,000	0	1,100,000
2007年度	1,000,000	0	1,000,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	420,000	3,920,000

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：情報通信システム、ユビキタスネットワーク、サービス競合

**1. 研究開始当初の背景**

様々な情報コンテンツや情報サービスを「いつでも・どこでも・誰にでも」利用・提供可能とするユビキタスネットワークの実現に向けて、関連技術の研究開発が盛んである。ユビキタスネットワークでは、身の回りのあらゆる「モノ」の機能をネットワーク越しに連携・統合することで、従来と比べより快適で付加価値の高いサービスを提供できると期待されている。また、利用者個人のライフスタイルに応じたオーダーメイドサービスの提供など、サービスのさらなる多様

化・高度化が促進される。

その一方で、サービスの高度化・多様化は**サービス競合**という新たな問題を生む。サービス競合とは、単体では正常に動作するサービスを他のサービスと同時に実行した場合、サービス間の機能的な衝突により、予期しない動作や不具合が生じる現象である。

安全かつ安心なユビキタス社会の実現においては、サービス競合問題の解決は不可欠である。しかし、便利で高度なサービスが次々と開発・提供されていく中、潜在的なサービス競合の数は組み合わせた増加していくため、場当たりの方法で全ての競合に

対処することは不可能である。

## 2. 研究の目的

そこで本研究では、ユビキタスネットワークにおけるサービス競合問題を定式化し、効率よく競合を検出・解消するための形式的手法の開発を目指す。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) ユビキタスネットワークにおけるサービスモデル化言語の開発

様々な種類のデバイスを一元的に扱うモデル化手法を提案し、ユビキタスサービスを形式的に記述するための言語を開発する。

### (2) サービス競合問題の定式化と競合検出アルゴリズムの開発

提案するサービスモデルに基づいて、ユビキタスネットワークにおけるサービス競合問題を定式化する。また、サービス競合を効率的に検出するアルゴリズムの開発を行う。

### (3) サービス競合解消法の考案

検出されたサービス競合を解消するための方法の考案を行う。利用者間のネゴシエーションや、サービス目的に応じた優先度付けなどにより、競合の解消をはかる。

### (4) 実用サービスへの適用実験

提案手法を実用サービスに適用して有効性の評価を行う。サービス競合検出・解消システムの試作を行う。

## 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(1)~(6)の方法で研究を進めた。

### ■ 2006年度

#### (1) サービスモデル化言語の開発

ユビキタス様々な種類の端末機器(デバイス)を一元的に扱うためのモデル化手法を提案し、ユビキタスサービス上での様々な性質を記述するための言語について検討を行った。その結果、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した。次に、ユビキタスサービスを、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した。更にこのサービスモデルを記述するための独自言語を開発した。さらに、サービスが満たすべき性質を記述する言語として、JML(Java Modeling Language)の適用可能性を考察した。

#### (2) サービス競合問題の定式化の検討

(1)で提案するサービスモデルに基づいて、ユビキタスネットワークにおけるサービス競合問題を定式化した。まず各サービス(sとする)がそれ単体で満たすべき性質  $\text{prop}(s)$  を、形式的に記述する。記述においては、JML言語を用いる。次に、二つのサービスモデル  $s_1, s_2$  の間のサービス競合を以下のように定式化した:「 $s_1$  は  $\text{prop}(s_1)$  を満たし、かつ、 $s_2$  は  $\text{prop}(s_2)$  を満たすとする。この時、両者を組み合わせたサービスモデル  $s_1+s_2$  が、 $\text{prop}(s_1) \wedge \text{prop}(s_2)$  を満たさなくなる。」この定式化に従い、サービス競合の検出問題は、サービスモデルが与えられた性質を満たすかどうかを形式的に証明する問題に帰着される。性質の検証においては、Java のテストフレームワーク JUnit と JML コンパイラを用いて、効率に行うことができた。

### ■ 2007年度

#### (3) サービス競合検出アルゴリズムの開発

(1)(2)で提案した、ユビキタスネットワークのモデル化手法、および、サービス競合の定式化に基づき、実際のサービス競合を検出するアルゴリズムの開発を行った。サービスの静的なモデルのみを用いて検出するオフライン検出と、サービスの実行時に発生した競合のみを検出するオンライン検出の2通りの検出アルゴリズムを提案した。提案したオフライン検出手法に関しては次世代ビル管理システムへ、また、オンライン検出手法に関してはホームネットワークシステムへ、それぞれ適用実験を行い、提案手法の有効性を確認した。

#### (4) サービス競合解消方式の検討

(3)で検出したサービス競合を、解消するための方式の検討を行った。競合を性質付けるいくつかの要因を洗い出し、競合解消への適用可能性を調べた。調査の結果、サービス間の優先順位・デバイス操作間の優先順位によって、ホームネットワークにおける典型的なサービス競合の多くを解消できることがわかった。提案解消方式を実際のホームネットワークシステム上に実装し、提案手法が有効であることを実験によって確認した。

### ■ 2008年度

#### (5) 競合検出・解消アルゴリズムの実装

(3),(4)で検討したユビキタスネットワークにおけるサービス競合検出・解消方式を、実際のシステム上に実装した。ユビキタスネットワークの代表的アプリケーションであるホームネットワークシステムのサービスを

対象とし、サービス配置前のオフライン競合検出機構、および、サービス実行中のオンライン競合検出・解消機構の実装を行った。実装においては、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、高品質な競合検出・解消法を実現した。

#### (6) サービス競合検証・解消方式の評価

(5)で実装したサービス競合検証・解消機構を、我々の研究室で開発しているホームネットワークシステム上で運用・実行し、提案方式の有効性の評価を行った。評価実験では、想定したサービス競合が提案方式によってどれだけ検出できるか、また、検出された競合をどれだけ妥当な方法で解消できるかを計測した。その結果、ホームネットワーク上で想定した全てのサービス競合を誤り無く検出し、妥当な解消法が取られたことが確認できた。また、競合検出・解消は、実用に耐えうる十分短い時間(100ms~200ms)で行えたことが確認できた。

## 4. 研究成果

本研究によって、以下の研究成果が得られた。

### (1) ユビキタスサービスのモデル化手法

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。この手法を代表的なユビキタスアプリケーションであるホームネットワークシステム(HNS)に適用し、実際のHNS実装に基づいてモデル化を行った。作成されたモデルに基づき、モデル駆動型開発手法、SMVによる検証手法などを開発し、モデル化手法の有効性を確認した。この成果を以下の外部発表にまとめた。

雑誌論文[4][12][13][16]

学会発表[3][20]

### (2) ユビキタスサービス検証の枠組み

サービス競合を検出・解消するために、ユビキタスシステム上の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、(1)の手法で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。この成果を以下の外部発表にまとめた。

雑誌論文[1][2][3][10]

学会発表[18][21]

### (3) サービス競合の定式化と競合検出・解消アルゴリズム

(1)のサービスモデル化手法に基づき、ユビキタスサービスにおけるサービス競合を形式化する手法を提案した。直感的に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。メソッドは、事前条件と事後条件でモデル化され、2つのメソッドの事後条件同士が衝突する場合と、片方の事前条件ともう片方の事後条件が衝突する場合の2つの条件の和で定義した。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[6][11]

学会発表[1][4][10][13][16]

### (4) SOAに基づくホームネットワークシステム基盤、サービス・アプリケーション開発

提案手法の具体的な適用対象として、代表的なユビキタスアプリケーションの一つであるホームネットワークシステム(HNS)の開発を行った。(1)のモデル化手法に従い、各機器、サービスのオブジェクトモデルをWebサービスとしてネットワークに公開した。また、それら既存Webサービスを組み合わせる付加価値サービスを迅速に組み立てるサービス指向アーキテクチャ(SOA)に基づく、新しいHNSサービス基盤を開発した。

またこのサービスプラットフォーム上で、家電連携サービス、Web情報資源・HNS連携、サービス作成環境、センササービス、視線・音声インタフェースといった様々なサ

ービス・アプリケーションの開発を行った。  
この成果を以下の外部発表にまとめた。

雑誌論文[5][7][8][9][14][15]  
学会発表[2][5][6][7][8][9][11][12][14]  
[15][17][19]

## 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 16 件)

※以下、すべて査読あり論文。

[1] Lydie du-Bousquet, Masahide Nakamura, Ben Yan, and Hiroshi Igaki, "Using Formal Methods to Increase Confidence in a Home Network System Implementation: a Case Study," *Innovations in Systems and Software Engineering (ISSE Journal)*, Springer, (to appear).

[2] 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*, (to appear).

[3] Ben Yan, Masahide Nakamura, and Ken-ichi Matsumoto, "Deriving Safety Properties for Home Network System Based on Goal-Oriented Hazard Analysis Model," *International Journal of Smart Home*, vol.3, no.1, pp.67-80, January 2009.

[4] Ben Yan, Masahide Nakamura, Lydie du-Bousquet, and Ken-ichi Matsumoto, "Validating Safety for Integrated Services of Home Network System Using JML," *IPSJ Journal (also published as Journal of Information Processing (JIP))*, vol.49, no.6, pp.1751-1762, June 2008.

[5] Masahide Nakamura, Akihiro Tanaka, Hiroshi Igaki, Haruaki Tamada, and Ken-ichi Matsumoto, "Constructing Home Network Systems and Integrated Services Using Legacy Home Appliances and Web Services," *International Journal of Web Services Research*, vol.5, no.1, pp.82-98, January 2008.

[6] 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, (to appear).

[7] Masahide Nakamura, Yusuke Fukuoka, Hiroshi Igaki, and Ken-ichi Matsumoto, "Implementing Multi-Vendor Home Network System with Vendor-Neutral Services and Dynamic Service Binding," In IEEE International Conference on Services Computing (SCC 2008), pp.275-282, July 2008. (Honolulu, Hawaii)

[8] Naohiro Yuasa, Kohei Mitsui, Hiroki Sakakibara, Hiroshi Igaki, Masahide Nakamura, and Ken-ichi Matsumoto, "Operating Networked Appliances Using Gaze Information and Voice Recognition," In Proc. of the IASTED International Conference on Human Computer Interaction (IASTED-HCI 2008), pp.107-112, March 2008. (Innsbruck, Austria)

[9] Yoji Onishi, Hiroshi Igaki, Masahide Nakamura, and Ken-ichi Matsumoto, "A Scalable Sensor Application Framework Based on Hierarchical Load-Balancing Architecture," In Proc. of the IASTED International Conference on Software Engineering (IASTED SE 2008), pp.37-42, February 2008. (Innsbruck, Austria)

[10] Lydie du-Bousquet, Masahide Nakamura, Ben Yan, and Hiroshi Igaki, "Using Formal Methods to Increase Confidence in a Home Network System Implementation, Case Study," In 2007 ISoLA Workshop On Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation (ISOLA 2007), pp.203-214, December 2007. (Poitiers, France)

[11] Ben Yan and Masahide Nakamura "Considering Safety and Feature Interactions for Integrated Services of Home Network System," In Proc. of Int'l. Conf. on Feature Interactions in Software and Communication Systems (ICFI'07), pp.199-202, September 2007.

[12] Ben Yan, Masahide Nakamura, Lydie

du-Bousquet, and Ken-ichi Matsumoto, "Characterizing Safety of Integrated Services in Home Network System," In 5th International Conference On Smart homes and health Telematics (ICOST2007), vol.LNCS 4541, pp.130-140, June 2007. (Nara, Japan)

[13] Hiroshi Igaki, Masahide Nakamura, Ken-ichi Matsumoto, and Mikio Aoyama, "Adopting Model-Driven Development for Integrated Services and Appliances in Home Network Systems," In Proc. of 13th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC 2006), pp.45-52, December 2006. (Bangalore, India)

[14] Kohei Mitsui, Hiroshi Igaki, Kentaro Takemura, Masahide Nakamura, and Ken-ichi Matsumoto, "Exploiting Eye Gaze Information for Operating Services in Home Network System," In 2006 International Symposium on Ubiquitous Computing Systems (UCS2006), vol.LNCS4239, pp.13-27, October 2006. (Seoul, Korea)

[15] Masahide Nakamura, Akihiro Tanaka, Hiroshi Igaki, Haruaki Tamada, and Ken-ichi Matsumoto, "Adapting Legacy Home Appliances to Home Network Systems Using Web Services," In IEEE International Conference on Web Services (ICWS2006), pp.849-858, September 2006. (Chicago, USA)

[16] Takafumi Matsuo, Pattara Leelaprute, Tatsuhiro Tsuchiya, Tohru Kikuno, Masahide Nakamura, Hiroshi Igaki, and Ken-ichi Matsumoto, "Automatically Verifying Integrated Services in Home Network Systems," In International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC2006), vol.II, pp.173-176, July 2006. (Chiang Mai, Thailand)

[学会発表] (計28件)

※以下、すべて査読なし発表

[1] 吉村 悠平, 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家電連携サービスのための競合解消方式の考察," 情報ネットワーク研究会, vol.IN2008-206, pp.439-444, March 2009.

[2] 福田将之, 井垣宏, 中村 匡秀, "他サ

ービスとの連携を考慮した時間駆動型ホームネットワークサービス基盤の改良," 電子情報通信学会技術研究報告, vol.108, no.458, pp.433-438, March 2009.

[3] 江上 公一, 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開発を容易化するネット家電標準データモデル," 電子情報通信学会 OIS研究会, OIS2008-75(2009-3), pp.75-80, March 2009.

[4] 池上弘祐, 吉村悠平, 井垣宏, 中村 匡秀, "サービス期間を考慮したホームネットワークサービス競合検出・解消システムの実装," 電子情報通信学会 OIS研究会, IEICE-OIS-462, pp.007-012, March 2009.

[5] 松尾 周平, 井垣 宏, 中村 匡秀, "エンドユーザーによるセンサー駆動サービスの構築支援環境の提案," 電子情報通信学会 OIS研究会, no.82, pp.043-048, March 2009.

[6] 岡村 雄敬, 井垣 宏, 中村 匡秀, "ホームネットワークシステムにおける環境相互作用を利用した省エネ機器連携サービスの一構築手法," 電子情報通信学会 OIS研究会, OIS2008, no.82, pp.013-018, March 2009.

[7] 坂本 寛幸, 井垣 宏, 中村 匡秀, "コンテキストウェアアプリケーションの開発を容易化するセンササービス基盤," 電子情報通信学会技術研究報告, vol.108, no.458, pp.381-386, March 2009.

[8] 福田 将之, 井垣 宏, 中村 匡秀, "ホームネットワークシステムにおけるリアルタイムな家電制御サービスの実現," 電子情報通信学会技術研究報告, vol.108, no.136, pp.041-046, July 2008.

[9] 坂本 寛幸, 井垣 宏, 中村 匡秀, "RSSを利用したWeb上の情報資源とホームネットワークシステムの連携," 電子情報通信学会技術研究報告, vol.108, no.136, pp.47-52, July 2008.

[10] 吉村 悠平, 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競合の動的検出・解消システムの設計と実装," 電子情報通信学会技術研究報告, vol.108, no.136, July 2008.

[11] 関本 純一, 中村 匡秀, 井垣 宏, 松本 健一, "ホームネットワークにおける家電連携サービス作成支援システムの開発,"

電子情報通信学会技術研究報告, vol.107, no.525, pp.289-294, March 2008.

[12] 福岡 佑介, 西岡 隆司, 中村 匡秀, 井垣 宏, 松本 健一, ``動的サービスインデイング機構を用いたマルチベンダホームネットワークシステムの一実現手法,’’ 電子情報通信学会技術研究報告, vol.107, no.525, pp.295-300, March 2008.

[13] 西澤 茂隆, 中村 匡秀, 井垣 宏, 松本 健一, 三浦 健次郎, ``ビル管理システム連携におけるシステムとサービス競合の定式化,’’ 情報処理学会研究報告, vol.2008, no.29, pp.179-186, March 2008.

[14] 榊原 弘記, 中村 匡秀, 井垣 宏, 松本 健一, ``ホームネットワークシステムにおける家電状態を利用した音声操作インタフェースの改善,’’ 電子情報通信学会2種研究会 サイバーワールド(CW)第9回研究会, pp.13-18, March 2008.

[15] 三井 康平, 井垣 宏, 中村 匡秀, 松本 健一, ``AXELLA: ユーザの注視情報を利用したホームネットワークシステム向けインタフェースシステム,’’ 電子情報通信学会2種研究会 サイバーワールド(CW)第9回研究会, pp.19-24, March 2008.

[16] 西澤 茂隆, 中村 匡秀, 井垣 宏, 松本 健一, 三浦健次郎, ``ビル管理システムにおけるサービス指向アーキテクチャの適用 ~ 異種サービスの連携と安全性に関する考察 ~,’’ 電子情報通信学会技術研究報告, vol.107, no.261, pp.3-8, October 2007.

[17] 湯浅 直弘, 伊原 誠人, 中村 匡秀, 松本 健一, ``ホームネットワークにおける家電連携サービスのユーザビリティ評価,’’ 電子情報通信学会技術研究報告, vol.106, no.578, pp.399-404, March 2007.

[18] 閻 奔, 中村 匡秀, リディ ドゥ ブスケ, 松本 健一, ``JMLを用いたホームネットワークシステムにおける連携サービスの安全性検証に関する提案,’’ 電子情報通信学会技術報告, vol.NS2006-159, pp.7-12, March 2007.

[19] 井垣 宏, 長江 洋子, 山田 松江, 中村 匡秀, 松本 健一, 青山 幹雄, ``ユーザの移動に伴う機器と環境の状態引き継ぎを実現するホームネットワークシステムの提案,’’ 電子情報通信学会技術研究報告, vol.106, no.578, pp.411-416, March 2007.

[20] 井垣 宏, 中村 匡秀, 松本 健一, 青山 幹雄, ``オブジェクト指向モデルを利用したSOAのためのモデル指向開発手法,’’ 情報処理学会ソフトウェア工学研究会ウィンターワークショップ 2007・イン・那覇 論文集, vol.2007, no.3, pp.81-82, January 2007.

[21] 閻 奔, 中村 匡秀, リディ ドゥ ブスケ, 松本 健一, ``ホームネットワークシステムにおける家電連携サービスの安全性に関する考察,’’ 電子情報通信学会技術報告, vol.IN2006-97, pp.49-54, November 2006.

(その他7件, 計28件)

[図書] (計1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, (to appear).

[その他]

上記の発表論文は, すべて以下のURLより閲覧・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