

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：14501
研究種目：基盤研究(C)
研究期間：2012～2014
課題番号：24500079
研究課題名(和文) スマートシティ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) Study of Service Interactions in Smart City

研究代表者

中村 匡秀 (NAKAMURA, MASAHIDE)

神戸大学・システム情報学研究科・准教授

研究者番号：30324859

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、スマートシティで提供されるサービス間の機能的な衝突である「サービス競合」を形式的に捉え、競合を検出・解消するための枠組みの開発を行った。具体的には、スマートシティ・サービスのモデル化手法、サービス競合問題の定式化と検出・解消方式、サービス競合管理システムと評価実験を実施した。研究成果として、サービス連鎖とサービス競合のモデル化および検出手法、環境サービス競合の定式化、検出・解消手法、スマートシティサービスのための大規模ログ蓄積・利用プラットフォーム、実世界データを活用したコンテキストウェアサービス等が得られた。これらの成果を11編の雑誌論文、80件の学会発表にまとめた。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have studied a systematic framework for detecting and resolving the "service interaction problem" in smart city. Specifically, we developed a modeling method of smart city services, a framework to formalize, detect and resolve the service interactions, and the service interaction management system for the evaluation.

Our contributions include; a method for modeling and detecting service chains and interactions, a formalization, detection and resolution method of environment service interactions, a data platform for managing large-scale log in smart city, context-aware services with real-world data. These achievements have been published as 11 journal papers and 80 oral presentations.

研究分野：サービス・クラウドコンピューティング

キーワード：サービス競合 スマートシティ スマートホーム センサ情報システム ビッグデータ アルゴリズム
省エネルギー

1. 研究開始当初の背景

(1) スマートシティ

スマートシティ(Smart City)は、エネルギーや交通、建物、行政サービスといった様々な種類の社会インフラを ICT 技術によって垂直・水平統合することで、都市を単位とした環境負荷の低減、安心で豊かな都市生活、産業の活性化を実現しようとする構想である。対象とするインフラは、電気・ガス・水道などのライフライン・エネルギーをはじめ、通信、建物、道路、交通、流通、さらに行政・医療・教育サービスと多岐にわたる。

スマートシティでは、センサやインテリジェントデバイスを用いて、地域における様々な情報をネットワーク経由で収集する。次に、それらの情報を統合的に分析・解釈し、地域の現状を定量的に把握する。最後に、状況に応じたサービスを実施し、地域機能の動的な最適化や付加価値創生を行う。我が国を含め既にいくつかの国の都市で、パイロットプロジェクトや実証実験が始まっている。エネルギーや社会基盤のあり方が問われている現在、スマートシティ構想は「長きにわたって安心して豊かに暮らせる都市」を目指し、国をあげて取り組むべき課題である。

(2) スマートサービス

スマートシティのサービスには、実世界の多種大量の情報をオンラインで取得し、それらを分析して、ふさわしいアクションを実世界へフィードバックするという特徴がある。エネルギー、防犯、防災、交通、医療、教育といった様々な分野でのサービス展開が期待される。例えば、以下のようなサービスが考えられる。

(エネルギー分野例：省エネ空調・照明サービス) 天気や室外温度、地域の消費電力と、ビル管理システムとを連携して、建物の消費電力を自律的に最適化するサービス。冷房時に外が涼しい場合には自動的に窓を開け外気を取り入れる、晴天時にはブラインドを制御して自然光を取り入れるといったシナリオが考えられる。

(防災分野例：避難経路確保サービス) 地域の気象情報や災害情報を監視し、非常時に避難経路を確保・案内するサービス。建物のドアを開放し、災害状況を通知、避難経路を誘導する。

(防犯分野例：侵入者検知サービス) 建物の出入り口や窓をセンサで遠隔監視し、業務時間外の開閉があった場合には警報を通知、必要があれば再施錠するサービス。

(3) サービス競合問題

単体では正常に動作するサービスであっても、これらを複数同時に実行するとサービス同士の機能が衝突し、意図しない不具合が発生することがある。この問題は一般にサービス競合問題 (service interaction または

feature interactions) と呼ばれる。例えば上記の3つのサービスを考えた場合、次のようなサービス競合が発生する。

(競合1：省エネ空調・照明サービスと侵入者検知サービス) 省エネ空調により自動開扉された窓が、侵入者検知によって誤って侵入者と検出され警報が発報してしまう。

(競合2：避難経路確保サービスと侵入者検知サービス) 非常時に避難経路確保のために自動開放されたドアが、侵入者検知サービスによって再施錠され避難できなくなる。

スマートシティのトータルな安全性とサービス品質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。提供されるサービス数に対して、潜在的なサービス競合の数は組み合わせ的に増大するため、試行錯誤的なやり方で全てのサービス競合に対処することは現実的ではない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、スマートシティにおけるサービス競合を形式的に捉え、競合を検出・解消するための体系的な枠組みを提案することである。具体的には期間内に次の4つを達成することを目指した。

(a) スマートシティおよびサービスのモデル化手法の検討

スマートシティで展開されるサービスを一元的に扱うモデル化手法を提案する。

(b) スマートシティにおけるサービス競合問題の定式化と検出手法の開発

サービスモデルに基づき、スマートシティにおけるサービス競合問題を厳密に定式化する。また、定式化に基づいて検出する手法を開発する。

(c) スマートシティにおけるサービス競合解消方式の開発

検出されたサービス競合を、オフラインおよびオンラインで解消する方式を検討する。

(d) サービス競合管理システムの開発

提案手法に基づいてサービス競合を検出・解消するシステムを実装する。いくつかのスマートシティサービスを試作し、システムの有効性評価を行う。

本研究の独創的なところは、スマートシティに対して「サービス競合」という重要な問題を形式化し、競合を厳密に検出・解消しようとするところにある。形式的な枠組みを整備することは、サービス競合の検出・解消の自動化が可能になるだけでなく、現状のサービス開発で存在するサービスの曖昧性や冗長性等の問題点を見直すガイドラインにもなりうる。したがって、本研究の成果は、スマートシティのサービスレベルでの品質向上を促し、安全・安心な社会の実現に寄与する重要な一技術となると期待される。

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、以下の方法で研究を進めた。

3.1 (2012年度)スマートシティおよびサービスのモデル化手法の検討

サービス競合を形式的に捉えるため、スマートシティとそこで展開されるサービスを一元的に扱うモデル化手法を提案した。主要な構成要素として、以下の4種類を挙げた：ヒト：サービスの受け手であり、サービスに対して要求や期待、満足度を持つ。モノ：スマートシティに配備されるデバイス、センサ、装置、設備を指す。サービス：モノを利用して人に価値を提供する処理。サービスの結果が人の満足度や環境に作用する。環境：ヒトの生活行動やサービスによって作用されるスマートシティの環境要素。

モデル化においては、サービス指向アーキテクチャの考え方に基づいて、ヒトをサービス要求・期待の集合、モノを状態遷移機械、サービスを[イベント、コンディション、アクション]のルールセット、環境を様々な属性を持つオブジェクトとしてモデル化した。

またモデル化を用いて、実際のスマート環境におけるサンプルサービスを試作し、モデルの妥当性を検証した。

3.2 (2013年度)サービス競合問題の定式化と検出・解消手法の開発

2012年度に提案したモデル化手法に基づいて、サービス競合問題を定式化し、それらを検出・解消する手法の開発を行った。

特に、異なるサービスが環境を介して、間接的に衝突する「環境競合」について、その検出・解消手法の検討を行った。直感的には、サービス S_1, S_2 の環境に対するインパクト I_1, I_2 と、ユーザの各サービスに対する要求 R_1, R_2 とを考慮し、「 S_1 と S_2 の実行によって与えられるインパクト I_1+I_2 が、 R_1 または R_2 を満たさなくしてしまう」という条件で競合を検出する。検出された競合を、サービスやユーザの優先順位によって解消する方法も検討した。

また、スマートシティサービスは、都市内のスマートホームやインフラ等から収集したビッグデータ（センサやシステムログ等）に基づいて実現される。本研究を契機に、ビッグデータを効率的に収集・活用する仕組みや、データに基づいたサービスを組み立てる枠組みの開発も行った。

3.3 (2014年度)サービス競合管理システムの開発と評価

前年度までに開発した提案手法を評価するために、いくつかのスマートサービスを開発し、提案手法の適用実験を行った。

まず、都市内のスマートホームやインフラ等から収集したビッグデータ（センサやシステムログ等）に基づいた実用的なサービスの

開発を行った。具体的には、スマートシティやスマートホームから収集される機器操作、電力消費、環境測定値からなる大規模な住宅ログの管理・提供サービスを開発した。次に、大規模ログを活用したコンテキストを定義するサービス、定義されたコンテキストを利用して、様々なサービスを作成するプラットフォームも構築した。さらに、これらのサービスを人間に提供する際のインタフェースとしてバーチャルエージェント技術を利用した対話システムの構築も行った。

開発したこれらのサービス間のサービス競合は、2013年度に提案した「環境競合の検出・解消手法」に基づいて分析された。その結果、実用的なスマートシティ、スマートホームのサービス群に対して、サービス競合問題がサービスの機能や品質を低下させる事例があること、開発したサービス競合の検出・解消を通してこれらを防止できることが分かった。今回の評価実験は、おもに数件のスマートホームのデータやサービスを想定したものであった。実際の都市規模のサービスへの適用実験は今後の課題となった。

4. 研究成果

4.1 サービス連鎖とサービス競合のモデル化および検出手法

スマートシティのもっとも基本的な構成単位であるスマートホームにおいて、センサによって駆動されるサービス同士が連鎖して予期せぬサービス競合を引き起こすサービス連鎖の問題を発見し、その現象のモデル化、検出手法を開発した。

具体的には、各サービスを（イベント、コンディション、アクション）の3つ組でモデル化し、あるサービス S_1 のアクションが別のサービス S_2 のイベントやコンディションに作用しないかを解析する。この依存的な作用が存在する場合、サービス連鎖が発生する可能性があり、このサービス連鎖は S_1 と S_2 の間に予期せぬ相互作用を引き起こす場合がある。この相互作用のうち、ユーザのサービス要求や期待に反するものをサービス競合として検出する。

提案アルゴリズムを、実用的な7種類のサービスに提案手法を適用し、11のサービス連鎖と6のサービス競合を検出している。本成果をジャーナル論文[8]にまとめて発表した。

4.2 環境サービス競合の定式化、検出・解消手法

スマートシティやスマートホームのサービスの中には、直接には競合しないものの、環境への影響を通して互いに間接的な競合を生じる場合がある。この問題を環境サービス競合として取り上げ、そのモデル化、定式化、検出・解消手法を開発した。

キーアイデアとして、サービスが駆動する機器や設備のアクション（操作）のそれぞれ

に、環境に対する影響（環境インパクト）を定義し、各サービスが環境にどのような影響をどれだけ与えるかを計算できる枠組みを導入した。2つのサービス S1, S2 が与えられたとき、それらの環境に対するインパクト I1, I2 と、ユーザの各サービスに対する要求 R1, R2 とを考慮し、「S1 と S2 の実行によって与えられるインパクト I1+I2 が、R1 または R2 を満たさなくしてしまう」という条件で競合を検出する。検出された競合を、サービスやユーザの優先順位によって解消する方法も検討した。この成果をジャーナル論文[6]にまとめて発表した。

4.3 スマートシティサービスのための大規模ログ蓄積・利用プラットフォーム

本研究の派生的な成果の一つとして、スマートシティサービスで利用する大量の実世界データを蓄積・活用するためのサービスプラットフォーム Scallop4SC (Scalable Logging Platform for Smart City)の開発を行った。Scallop4SCは並列分散処理基盤である Hadoop と HBase を組み合わせたスマートシティサービスのためのデータプラットフォームである。都市内の多種多様な計測データを単純なキーとバリューの組で一元的に扱い、タイムスタンプをつけてログとして HBase に保存する。蓄積された大規模なログは Hadoop MapReduce 処理によって、必要なデータ形式に整形され、様々なアプリケーションやサービスに提供される。

Scallop4SCはLinuxクラスタ上に構築され、研究室で様々な機器から取得している約2億件のログデータを利用して、年間の研究室消費電力を集計する実験が行われた。この成果は国際会議論文[14][15]にまとめられた。

さらに大規模データへのアクセスの効率性を目指して、Scallop4SCの大規模データを各アプリケーションで利用しやすいビューに変換するサービス MVaaS (Materialized View as a Service) も開発した。アプリケーションが自分の欲しいデータの仕様を MVaaS に渡すと、MVaaS は MapReduce 処理によってデータ仕様に従った体現ビューを構築する。一旦ビューが構築されると、アプリケーションは生データにアクセスする必要がなくなり、高速化される。この成果はジャーナル論文[4][5]および国際会議論文[8][11]にまとめられた。

4.4 実世界データを活用したコンテキストウェアサービス

スマートシティでは実世界から様々なデータを収集し、その場の状況を推定して、その状況に応じたサービスが実現される。こうした状況情報は一般にコンテキストと呼ばれ、コンテキストに応じた振る舞いをするサービスは、コンテキストウェアサービスと呼ばれる。

本研究で行ったスマートサービスのモデ

ル化手法を活用する形で、実世界のセンサや情報サービスを利用してコンテキストウェアサービスを組み立てるサービスフレームワーク RuCAS (Rule-based Framework for Context-Aware Services)を開発した。

RuCAS では、ユーザが実世界データを取得する Web サービスに対するアダプタを作成し、取得したデータに基づいたコンテキストを定義する。次に、コンテキストウェアサービスを3.1で述べた[イベント, コンディション, アクション]の3つ組のルールで定義する。一旦定義されたサービスは RuCAS によって自動的に監視・実行される。この RuCAS フレームワークはクラウド上に配備され、スマートシティサービスに限らず様々な Web サービスをコンテキストウェアサービスとして連携することが可能となる。この成果は、ジャーナル論文[1]および国際会議論文にまとめられた[2]。

さらに現在の実世界データの計測値に限定せず、過去の状況も含めた高度なコンテキストを定義し、コンテキストウェアサービスに活用する研究も行った。4.3で述べた Scallop4SC に蓄積したセンサデータを活用して、「今日の気温が昨日より低い」や「今日の消費電力は昨年同日の消費電力よりも多い」といった高度なコンテキストを定義できるようになっている。この成果はジャーナル論文[3]にまとめられた。

4.5 その他のスマートサービスに関する研究成果

当該研究で達成した成果を活用することで、スマートサービスに関するさまざまな派生的成果が得られた。

その一つとして、ヴァーチャル・エージェント (VA) を活用したスマートサービスインタフェースの開発があげられる。VA は音声認識・音声合成技術を利用した人間と対話可能なチャットロボットプログラムである。本成果では、VA を様々なスマートサービスを提供するためのインタフェースとして活用することをめざした。具体的には、サービス指向アーキテクチャを利用して、人間との対話のみならず、スマートスペース内の様々なモノ（センサ、機器、情報システム等）との連携を可能にした（ジャーナル論文[2]）。

またスマートシティ内の個人に適応したサービスの研究も行い、個人適応型エネルギー可視化(国際会議論文[12])や個人適応型ピークカットアプリケーション(国際会議論文[10])、ライフログ統合プラットフォーム(国際会議論文[9])等の成果が得られた。

さらに、クラウドを活用してスマートサービスの運用・管理を効率化する手法(国際会議論文[1][5][9])や、独居高齢者向けの見守りサービスに関する研究(国際会議論文[4][7])、スマートシティの建物内の位置情報をサービスとして利用可能にする研究(国際会議論文[3])も行った。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計11件)

すべて査読あり論文

- [1] Hiroki Takatsuka, Sachio Saiki, Shinsuke Matsumoto, and Masahide Nakamura, ``Rucas: Rule-Based Framework for Managing Context-Aware Services with Distributed Web Services,'' *Int'l Journal of Software Innovation*, vol.3, no.3, July 2015.
- [2] Hiroyasu Horiuchi, Sachio Saiki, Shinsuke Matsumoto, and Masahide Nakamura, ``Virtual Agent as a User Interface for Home Network System,'' *Int'l Journal of Software Innovation*, vol.3, no.2, pp.24-34, April 2015.
- [3] Yuichi Watanabe, Shinsuke Matsumoto, Sachio Saiki, and Masahide Nakamura, ``Applying Log Data to Context-Awareness in Home Network System,'' *EAI Endorsed Transactions on Context-aware Systems and Applications*, vol.15, no.3, p.e3, March 2015.
- [4] Shintaro Yamamoto, Shinsuke Matsumoto, Sachio Saiki, and Masahide Nakamura, ``Design and Evaluation of Materialized View as a Service for Smart City Services with Large-Scale House Log,'' *IEICE Tran. on Info. & Sys.*, vol.E97-D, no.7, pp.1709-1718, July 2014.
- [5] Shintaro Yamamoto, Shinsuke Matsumoto, Sachio Saiki, and Masahide Nakamura, ``Using Materialized View as a Service of Scallop4sc for Smart City Application Services,'' *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol.271, pp.51-60, March 2014.
- [6] Masahide Nakamura, Kosuke Ikegami, and Shinsuke Matsumoto, ``Considering Impacts and Requirements for Better Understanding of Environment Interactions in Home Network Services,'' *Journal of Computer Networks*, vol.57, no.12, pp.2442-2453, August 2013.
- [7] Masahide Nakamura, Shuhei Matsuo, and Shinsuke Matsumoto, Supporting End-User Development of Context-Aware Services in Home Network System, In Roger Lee, editor, *Studies in Computational Intelligence*, pp.159-170, Springer, 2012.
- [8] Takuya Inada, Hiroshi Igaki, Kosuke Ikegami, Shinsuke Matsumoto, Masahide Nakamura, and Shinji Kusumoto, ``Detecting Service Chains and Feature Interactions in Sensor-Driven Home Network Services,'' *Sensors*, vol.12, no.7, pp.8447-8464, June 2012.

他, 3件の雑誌論文

[学会発表](計80件)

38件の査読あり国際会議発表, および, 42件の査読なし国内会議発表

- [1] Satoshi Takatori, Seiki Tokunaga, Junho Lee, Shinsuke Matsumoto, and Masahide Nakamura, ``A Cloud-Based Architecture for Home Network System,'' *IEEE International Workshop on Cloud-integrated Cyber Physical Systems (Cloud-CPS 2014)*, pp.964-969, 2014.12.15, Singapore (Singapore)
- [2] Hiroki Takatsuka, Sachio Saiki, Shinsuke Matsumoto, and Masahide Nakamura, ``Design and Implementation of Rule-Based Framework for Context-Aware Services with Web Services,'' *16th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS2014)*, pp.233-242, 2014.12.04, Hanoi (Vietnam)
- [3] Long Niu, Shinsuke Matsumoto, Sachio Saiki, and Masahide Nakamura, ``Considering Common Data Model for Indoor Location-Aware Services,'' *4th International Workshop on Location and the Web (LocWeb2014)*, pp.25-32, 2014.11.03, Shanghai (China)
- [4] Seiki Tokunaga, Shinsuke Matsumoto, Sachio Saiki, and Masahide Nakamura, ``How Should Remote Monitoring Sensor Be Accurate?'' *1st International Workshop on Reliability of eHealth Information Systems (ReHIS2014)*, pp.31-36, 2014.10.14, Natal (Brazil)
- [5] Tetsuya Masuda, Yuichi Watanabe, Shinsuke Matsumoto, Sachio Saiki, and Masahide Nakamura, ``Exploiting Contexts with House Log for Value-Added Smart TV Services,'' *2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2014)*, 2014.10.08, Tokyo (Japan)
- [6] Yuichi Watanabe, Tetsuya Masuda,

- Shinsuke Matsumoto, Sachio Saiki, and Masahide Nakamura, ``Exploiting House Log of Home Network System to Derive Contexts with Past Situations,`` 3rd Int'l Conf. on Context-Aware Systems and Applications (ICCASA2014), 2014.10.15, Dubai(UAE)
- [7] Seiki Tokunaga, Sachio Saiki, Shinsuke Matsumoto, and Masahide Nakamura, ``Modeling of Remote Monitoring Service for Elderly People,`` 9th World Conference of Gerontechnology (ISG2014), vol.13, no.2, pp.289, 2014.06.19, Taipei(Taiwan)
- [8] Shintaro Yamamoto, Shinsuke Matsumoto, Sachio Saiki, and Masahide Nakamura, ``Materialized View as a Service for Large-Scale Houselog in Smart City,`` Int'l Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom2013), pp.311-316, 2013.12.03, Bristol (UK)
- [9] Kohei Takahashi, Shinsuke Matsumoto, Sachio Saiki, and Masahide Nakamura, ``Design and Evaluation of Lifelog Mashup Platform with NoSQL Database,`` 15th Int'l Conf. on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS2013), pp.133-139, 2013.12.03, Vienna (Austria)
- [10] Keisuke Tokuda, Shinsuke Matsumoto, and Masahide Nakamura, ``Implementing a Mobile Application for Spontaneous Peak Shaving of Home Electricity,`` In Sixth International Workshop on Selected Topics in Mobile and Wireless Computing (STWiMob2013), pp.284-289, 2013.10.07, Lyon (France)
- [11] Yuki Ise, Shintaro Yamamoto, Shinsuke Matsumoto, Sachio Saiki, and Masahide Nakamura, ``Implementing Materialized View of Large-Scale Power Consumption Log Using MapReduce,`` 14th ACIS Int'l Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD2013), pp.523-528, 2013.07.01, Honolulu (USA)
- [12] Yuichi Watanabe, Masahide Nakamura, and Shinsuke Matsumoto, ``Implementing Personalized Energy Visualization Service in Home Network System,`` 14th ACIS Int'l Conference on Software Engineering, Artificial

Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD2013), pp.529-536, 2013.07.01, Honolulu (USA)

- [13] Izuru Kume, Masahide Nakamura, and Etsuya Shibayama, ``Toward Comprehension of Side Effects in Framework Applications as Feature Interactions,`` In Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC2012), pp.713-716, 2012.12.07, Hong Kong (Hong Kong).
- [14] Shintaro Yamamoto, Shinsuke Matsumoto, and Masahide Nakamura, ``Using Cloud Technologies for Large-Scale House Data in Smart City,`` Int'l Conf. on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom2012), pp.141-148, 2012.12.05, Taipei(Taiwan)
- [15] Kohei Takahashi, Shintaro Yamamoto, Akihiro Okushi, Shinsuke Matsumoto, and Masahide Nakamura, ``Design and Implementation of Service API for Large-Scale House Log in Smart City Cloud,`` Int'l Workshop on Cloud Computing for Internet of Things (IoTCloud2012), pp.815-820, 2012.12.06, Taipei(Taiwan)

他, 23 件の国際会議, 43 件の国内会議

〔図書〕(計 0 件)

なし

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

なし

取得状況 (計 0 件)

なし

〔その他〕

上記発表論文は次の URL より取得可能である。
<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・大学院システム情報学研究所・
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