

平成 22 年 6 月 4 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20760232

研究課題名（和文） DIY コンテキストウェア情報基盤の構築に関する研究

研究課題名（英文） Research of Development of DIY Context-aware Information Platform

研究代表者

川原 圭博 (KAWAHARA YOSHIHIRO)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師

研究者番号：80401248

研究成果の概要（和文）：

本研究では、来たるべきユビキタスコンピューティング環境において、ユーザ主導でコンテキストウェアサービスを管理・構成するために必要となる技術課題を再整理し、実世界に遍在するリソースを DIY (Do It Yourself) 式に連携するための管理フレームワークを確立した。具体的には、WWW のスケーラビリティの高さに着目し、REST アーキテクチャスタイルとランデブーポイントベースの通信モデルに基づいたセンサ、アクチュエータのリソース管理手法を設計、実装した。

研究成果の概要（英文）：

In this research, we have developed a Do-It-Yourself (DIY) style resource coordination platform which allows to coordinate physical resources. The platform has been designed based on the technical criteria required for user oriented context-aware service management in ubiquitous computing environment. More specifically, by exploiting the nature of WWW, which is highly scalable, we designed and implemented a resource management method for sensor and actuator control based on REST architectural styles and rendezvous point based communication model.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：通信・ネットワーク工学

科研費の分科・細目：

キーワード：ユビキタスコンピューティング

科学研究費補助金研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

ユビキタスコンピューティング環境は、実世界に存在するハードウェア、仮想世界に存在するソフトウェアを含めた、あらゆるオブジェクトがネットワーク接続され、それらの有機的なつながりによって、利用者の好みや状況に応じたコンテキストウェアサービスの実現が可能となる世界である。

防災や物流管理、教育からエンターテインメントに至るまで様々な応用サービスに関する研究開発が急速に進められている。ユーザ主導のコンテキストウェアサービスとは例えば「庭の人感センサが人を感知した際、宅内のRFIDタグリーダを確認して家族ユーザが在宅かどうか調べる。庭の侵入者が家族によるものでなければ不審者であると判断し、Webカメラで写真を撮って、家から一番近い家族の携帯電話にメールを送る」といったようなサービスが考えられる。この場合、ユーザの自宅の人感センサネットワーク、在宅者管理システム、Webカメラサービス、通信キャリアの位置情報サービスが緊密な連携を取る必要がある。現在検討が進められているコンテキストウェアサービスは、実現可能性を評価する段階にあるものが多く、サービスを構成する要素が単一のドメインにおいて提供されることを想定した垂直統合的サービスが中心であり、クロスドメインの異種サービスのスケーラブルな連携利用が必ずしも容易ではない。このようなユーザ主導のきめ細かなサービスを実現するために、巨大なサービスプロバイダーが垂直統合的にインフラを提供することは、設備投資効率を考えると期待できない。したがって、本研究ではセンサやアクチュエータなどの各種サービスをクロスドメインで連携可能なユーザ主導 DIY 的サービス構築技術について研究する。

2. 研究の目的

現存するネットワークシステムのなかでも、WWWはスケーラビリティと再利用性が最も高いシステムであるといえる。本研究では、WWWの持つスケーラビリティにヒントを得て、RESTアーキテクチャスタイルがコンテキストウェアサービスを構成する際に好ましい性質を發揮しうることに着目する。

REST(Representational State Transfer)とは、分散システムのためのソフトウェアアーキテクチャのスタイルのひとつであり、(1)ステートレスなサーバ・クライアント通信を用い(2)すべての情報(リソース)を一意に識別するためにURIを用い(3)このURIに対してPOST,GET,PUT,DELETEの4つのアクションを適用し、(4)HTMLまたはXMLなど他

リソースへの参照を含むデータ形式でアプリケーションデータを記述するという原則を有する。従来のRPCやDCOM, CORBAなどの分散オブジェクト技術では、オブジェクトを呼び出す側と呼び出される側で、あらかじめどういったメソッド(ファンクション)が利用可能か合意が必要な上、さらにオブジェクトの状態を常に管理しなければならず、こうした密な結合がクロスドメインでの連携でのスケーラビリティを失う原因となっていた。

一方でRESTに則れば「リビングの現在の気温」をあらわすURI(<http://myhome.net/temp/living>)に対してGETすれば最新の気温情報が常に得られる。「ディスプレイに文字を表示する」といった出力サービスの場合、ディスプレイのURI(<http://myhome.net/display1>)に対して、メッセージをPOSTすればよい。つまり既存のRPCモデルがプログラミングモデルのファンクション呼び出しをネットワーク上に広げよう、という密結合の発想であるのに対し、RESTはリソースのドキュメント表現をベースとすることで、よりシンプルで疎な連携に基づくためスケーラブルな呼び出しが可能になる。

前述のRESTベースのリソース表現手法が存在するとき、これを元に前述の監視サービスを構成するには(1)ユーザはセンサ情報URIにGETし情報を得る、(2)情報の中身に応じて条件判断する(3)侵入者情報をユーザにメールでPOSTするという情報の連携が必要になる。これを一般的に表現するとProducerで生成された情報をフィルタリングしてConsumerへ伝達するというデータの流れになる(図1)。このProducer-[filter]-Consumerのリソース連携はさらに複雑な例として次のような性質をサポートしなければならない。

- (a) 複数のProducer, Consumerからなるリソース連携
- (b) リソースの移動, 変更によるURIの動的な更新
- (c) フィルタ機能の合成

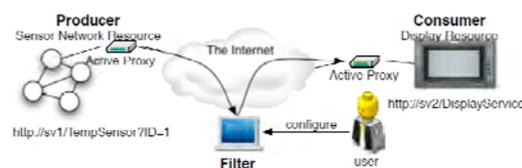


図1 リソース連携のフロー

ところがこれらの性質は従来のSOAPに見られるようなProducerとConsumerが直接通信するモデルでは、実現が不可能である。そこで、本研究ではネットワークインフラ

トラックチャ上のランデブーポイントを設け、**Producer** と **Consumer** の通信をそのランデブーポイントを介して行うことで前述の性質を実現する。

コンテキストアウトウェアサービスの構築支援をするフレームワークには、ローカル接続されたセンサ情報を隠蔽し **GUI Widget** を扱うようにアプリケーションを構築できる **Context Toolkit** がある。ハードウェアから **API** までを垂直統合的に提供した **Phidget** も研究開発用プロトタイプとして定評を得ている。しかしいずれもプロトタイピングには適しているが、ネットワークサービス基盤として用いるにはスケーラビリティに難がある。また、**Context Toolkit** では言語が **Java** に限定されてしまうため、**Java** 以外で構成された既存資産を有効活用することが難しい。

汎用的なサービスプラットフォームや標準プロトコルとして、**Java** に基づいたソフトウェア部品化技術である **OSGi** や、**LAN** 内の機器に対してアドレス割当、名前解決、デバイス発見を行う **UPnP**、異なるベンダの機器同士を相互接続してデジタルコンテンツを記録、再生するための **DLNA** などが検討されている。これらの取り組みは宅内ホームネットワークなど閉域網において機器同士の接続方法を規定するものでありセンサ情報に変化が起こったときに何かサービスを提供するような機構を持ち合わせてはいない。

本研究は、現在 **WWW** で活用されている **REST** アーキテクチャをユビキタスネットワーク環境におけるコンテキストアウトウェアサービス合成に適用することで、ユーザ主導で **DIY** 的に様々な情報リソースのクロスドメインでの柔軟な連携を可能にする点で新規性を有する。ユーザ主導の情報リソース連携では、昨今 **Web** 情報のマッシュアップが注目を集めているが、本研究は **Web** マッシュアップを実空間情報に拡張するサービスであるともいえる。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために必要な研究開発を、(1)異なるドメインで提供されることが前提であるセンサ情報や、アクチュエータの操作を **REST** アーキテクチャに則って行うための **Active Proxy** の方式開発と(2)公開されているリソースを連携してカスタマイズされたサービスを管理するためのリソース連携方式の開発の二つのフェーズに分ける。

(1)コンテキストアウトウェアサービス構成リソースの **REST** 表現とプロトコル変換ゲートウェイ

本研究を進める上でまず初めに必要となるのが、リソースへの統一的なアクセス手法に関する規定である。本手法では、センサ情報やコンテキスト情報、情報源、アクチュエータをすべてリソースと見なす。これらリソースの汎用的な呼び出しとして **HTTP** を用い、1つのリソースに対してひとつの **URI** を割り当てる。これらリソースに対して、現在の状態を取得するだけで実空間上のリソースに副作用をおよぼさないリソースに対するアクセスは **GET**、副作用をおよぼすが **URI** には変化を生じないアクセスには **PUT**、副作用をおよぼし **URI** を生成するアクセスは **POST**、副作用をおよぼし **URI** を削除するアクセスは **DELETE** の **HTTP** メソッドを通してアクセスするように規定する。

本研究では **POST/GET/PUT/DELETE** のアクションを行った際にサーバから戻される値に関する表現方法自体に関しては **Atom** 形式を利用することのみ規定する。そして **URI** のセマンティクスに関しては推奨規定を設けるがそれをすべてのリソースに対して要求しない。ある **URI** で提供されているリソースが何を示すのか、そのサーバではほかにどういったリソースが提供されているのか、そしてそのリソースをクライアントが利用するにはどうすればいいのかは、それぞれのリソースを管理するサーバまたはそのサーバ群を管理する管理者の責任の裁量で決定し、提供するものとする。

ホームネットワークの **AV** 機器のコントロールには **DLNA**、宅内の白物家電の操作には **Echonet**、そしてセンサネットワークにはそれぞれ独自のネットワークプロトコルが存在するように、現在では機能と要求に応じて異なる通信プロトコルが共存しながら存在する。われわれが想定している環境では、これらの異なるプロトコルで構成されているネットワークのリソースも、**REST** アーキテクチャにより相互連携することを目指す。現在すでに展開されている独自プロトコルのリソース群を一律に **REST** アーキテクチャ形式でアクセス可能にすることは現実的ではないため、図1に示したように、独自ネットワークにひとつ **Active Proxy** を設けこれをプロトコル変換ゲートウェイとして機能させる。

この **Active Gateway** の動作の例としてあるセンサネットワークのプロトコルを変換する例を考える。**Active Proxy** はセンサネットワークのシンクノードにおいて設置され、センサネットワーク中のあるノード (**ID:1000**) が現在示しているセンサ値を取得したい場合の **URI** を `http://sensornet.example.com/getcurrentvalue/id/1000` で提供しているとする。**HTTP** クライアントがこの **URL** にアクセスし **GET** を行うと **Active Proxy** はセンサネットワーク

に対し、ID=1000 のセンサノードの計測情報を取得する旨のクエリメッセージを発行し、結果を得る。取得結果は XML による Atom 形式で記述し、出版する。

これらの課題は、自然科学法則による学術的研究という側面よりもエンジニアリング的センスを要する研究開発であるため、既存の Plagger や REST ベースの Web サービス API の開発動向に注目しながら ActiveProxy のデザインを進めていく。

(2) リソース連携方式の開発

さらに、REST アーキテクチャにより公開されたリソース同士の連携方法についての研究を行う。Producer リソースと Consumer リソースは3つの連携形態が考えられる。すなわち、(a)複数の Producer, Consumer からなるリソース連携は、庭の人感センサと、宅内の RFID の在宅管理システムなど、複数の情報源を一度に扱うために必要となる。(b)リソースの移動、変更による URI の動的な更新では、あるセンサ情報を常に「最寄りのディスプレイに表示」したいときなど、最寄りのディスプレイが変更されるたびに新しい Consumer の URI を関連する Filter や Producer すべてに通知・登録しなおすのは現実的でないため、対応する必要がある。(c)フィルタ機能の合成とは、A->B という変換を行うフィルタと、B->C という変換を行うフィルタの合成を許すことで、A->C という新たなフィルタを利用可能にするために必要である。

4. 研究成果

(1) Active Proxy 方式の開発

Active Proxy とは、センサやアクチュエータなどのデバイスが持つ情報すなわちリソースを配信するためのアプリケーションである。Active Proxy はプラグイン機構によりさまざまなデバイスに対応し、HTTP 通信上で様々なフォーマットでセンサ情報を配信することができる。標準でサポートしているフォーマットは Atom Syndication Format [RFC4287] であり、クライアントは Atom フィードの形式でセンサの情報を取得、設定することができる。

特徴

- Atom フィードを用いたセンサ情報の配信
- プラグインアーキテクチャによる、サポートデバイスの追加
- プラグインアーキテクチャによる、配信フォーマットの変更
- Web サーバを内蔵しており、スタンドアローンでの動作

(2) リソース連携方式

リソース同士の要求を満たすための連携方式として、ランデブーポイントを介した連携手法を新たに開発した。本手法は Producer と Consumer を直接結び付けるのではなく、Producer と Consumer の関連付けに論理的な ID id をつけ、分散ハッシュテーブル技術に基づいたオーバーレイネットワーク (ON) 上で管理を行う。ON を構成する ID 管理ホストはある URI に対して GET, POST, PUT, DELETE アクションを実行またはリダイレクトすることが可能な機能を持たせる。ユーザは、この ID インフラストラクチャを用いて Producer と Filter, Consumer リソースの連携を行う。すなわち (1) ユーザが ON 上に (id1, URI1, action) を組としたランデブーポイントを設定すると ON 上の id1 を管理するホストは URI1 の情報に action を実行し応答データを保存する。さらに (2) ユーザが Filter1 の URI URI1 をトリガとして (id1, URI1, action) を ON に挿入すると id1 の管理ホストは (1) で得たデータを URI1 に action を用いて通知する。同様にして Producer と Filter, Consumer を ID を介して連携することができる。



図2 Augment Reality による可視化

本手法は、本質的には、送信者と受信者間の通信を ID によりいったん分離することにある。このようなランデブーポイントベースの通信は Internet Indirection Infrastructure でも提唱されているものであるが、この分離を行う結果、(a)同じ ID を持つトリガを複数登録することで容易にマルチキャストが可能、(b)移動などに伴いリソース URI が URI' に変化する際、ON 上で URI を更新するだけで他のリソースに影響を与えずモビリティをサポートできる、(c) ID とトリガを数珠繋ぎすることでフィルタのサービス合成が可能 (d) HTTP 的には、通信はオーバーレイネットワーク構成ホストによりいったん終端するため、リソース間で秘密にしたい URI が漏れることはないといったように、(a)-(d) までのリソース間連携にとって最も大切な性質をすべて解決することができる。

そして、本手法の有効性を示すための一アプリケーションとして、Augment Reality 技術を用いてセンサ情報といった管理情報を重畳表示するアプリケーションを作成した。

センサ情報やアクチュエータの情報はネットワークから値取得が可能であっても、現実には人の目には不可視である。したがって、Augment Reality ツールを利用して、ワークフローの設定情報やセンサの値を CG により直感的に表示することにより、Do It Yourself 式にセンサ情報のマッシュアップを行うことができるようになった。

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 4 件)

- ①. K. Wada, Y. Kawahara, T. Asami, A Design of XML Schema for Information Presentation System using Augmented Reality in New Generation Network Management, Proceeding of ITU-T Kaleidoscope event, pp. 1-7, 2009
- ②. A. K. A. Hamid, Y. Kawahara, T. Asami, Proceedings of IEEE INFOCOM 2010 WiP Track, 2009
- ③. K. Wada, Y. Kawahara, and T. Asami, Coordinating Context-aware Service Resources Using Internet Indirection Infrastructure, Proceedings of 7th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies, pp. 64-69, 2008
- ④. K. Wada, Y. Kawahara, and T. Asami, An Entity Information Registry For Rendezvous-based Resource Coordination System, Adjunct Proceedings of Fifth International Conference on Networked Sensing Systems (INSS08), 2008

[学会発表] (計 7 件)

- ①. Y. Kawahara, A. K. A. Hamid, T. Y. Song, K. Wada, T. Asami, Network Management Architecture Toward Universal Communication, 3rd International Universal Communication Symposium IUCS 2009 (Invited Talk), 2009/12
- ②. A. K. A. Hamid, Y. Kawahara, T. Asami, Performance Analysis of REST-based Active Proxy in Network Management, Workshop of Internet Technology, 2009/6
- ③. 川原 圭博, 瀬崎 薫, 浅見 徹, Web サービス連携によるアプリケーションからのネットワーク制御管理技術, 信学ソ大 2009, 2009/9
- ④. A. K. A. Hamid, Y. Kawahara, T. Asami, Cache design for RESTful Active Proxy for efficient SNMP monitoring, 信学技

報 情報ネットワーク研究会 (IN), 2009/11

- ⑤. 川原 圭博, 瀬崎 薫, 浅見 徹, リソース指向型異種ネットワーク協調管理機構の設計, 情処研報, 2008/9
- ⑥. A. K. Abdul Hamid, Y. Kawahara and T. Asami, i. see. Workflow: The Framework for Integrated and Comprehensive Workflow for Future Network Management, 信学総大 2009
- ⑦. 江口洋平, 川原 圭博, 瀬崎 薫, 浅見 徹, リソース指向 WSN 管理システムの実装, 信学総大 2009

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

HTTP://www.akg.t.u-tokyo.ac.jp/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川原 圭博 (KAWAHARA YOSHIHIRO)
東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師

研究者番号 : 80401248

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :