

ユビキタスセンサネットワークにおけるプライバシーを考慮した RDF ベースの サービス制御可能な知識モデルの提案

佐藤 信

勅使河原 可海

創価大学大学院工学研究科

192-8577 東京都八王子市丹木町 1-236

e11m5218@soka.ac.jp

teshiga@t.soka.ac.jp

あらまし ユビキタスセンサネットワークでは、空間内の多種多様なセンサが自動的に情報を収集し、高品質なサービスを提供する。その中で、よりユーザの要求に則したサービスを提供するためには、取得情報の効率的利用が重要である。これに対し本研究室では、取得情報をRDFで表現し一元管理するプラットフォームの開発を進めている。本研究ではこれまで、プラットフォームに適用可能な知識モデルを提案した。また、シミュレータを開発してこのモデルの実現可能性を検証してきた。本稿では、階層的に表現可能なユーザ情報を導入することで、プライバシーを考慮したサービス制御可能な知識モデルの提案を行い、実験を通してその実現可能性について検討する。

A Proposal of a Knowledge model in Consideration of Privacy for the RDF-based Service Control in Ubiquitous Sensor Network

Makoto Sato

Yoshimi Teshigawara

Graduate School of Engineering, Soka University

1-236 Tangi-cho, Hachioji-shi Tokyo, 192-8577, JAPAN

e11m5218@soka.ac.jp

teshiga@t.soka.ac.jp

Abstract In the ubiquitous sensor networks, various sensors and the tag readers automatically collect information in the space, and relevant information provision and high-quality services are achieved. In our laboratory, the platform which consolidates all the information in the space by using RDF has been developed. This study proposed a knowledge model that can be applied to the platform. In addition, we have verified the feasibility of the knowledge model by developing a simulator. In this paper, we propose a model in Consideration of Privacy by introducing user information represented hierarchically, and we study the feasibility of the model using the simulator.

1 はじめに

近年、ユビキタス社会の実現に向けて、様々な研究や技術開発が行われている。その中で

も、空間内の多種多様なセンサやタグリーダーが自動的に空間内の情報を収集し、適切な情報提供や高品質なサービス提供を実現させるセンサネットワーク空間が注目されている。

センサネットワーク空間では、各センサが多目的に使用されるため多種の情報を取得できるように、センサ自身の高度化や高性能化が求められている[1]。近年、センサの研究、開発が進み、角速度センサ、光センサなどが開発されてきており、取得可能な実空間の状態情報の種類の増加や、取得情報の粒度の多様化、測定精度の向上が予想される。また、センサネットワーク空間でサービスや情報を提供するエージェントの研究、開発も進み、音声対話や 3D 画像、触覚ディスプレイなど多彩な表現能力を所持するエージェントが開発されてきており、提供可能な情報の粒度の多様化や表現能力も多彩になることが予想される。したがって、今後センサネットワーク空間内の情報量が膨大になってくることが予想される。その際には、ユーザのプライバシー情報等のサービス提供に必要な情報が様々な粒度で存在していることが予想されるので、センサネットワーク空間でよりユーザの要求に則したサービスを提供するには、情報の効率的利用が重要となる。

これに対し、本研究室では、センサ情報やユーザ情報、サービスの状態等を RDF (Resource Description Framework) で表現し、実空間内のすべての状態情報を一元管理する手法を検討している[2]。RDF とは、ウェブ上のリソースに関する情報について論理的に記述することで機械が処理できるように統一された枠組みであり、W3C によって標準化がなされている[3]。RDF では、リソースに関する情報を (主語, 述語, 目的語) の組合せである RDF トリプルで表現する。この RDF トリプルはラベルつき有向グラフとして表現することができる。RDF トリプルにおいて、主語は記述対象のリソースを、述語はリソースの特徴や主語と目的語との関係を、目的語は主語との関係のある物や述語の値を表現している。この RDF トリプルの集合を RDF グラフと呼ぶ。また、この手法で空間の状態を表現することにより、空間内の情報を RDF グラフとして一元管理することができ

る。現在、センサ情報を RDF で記述する手法が存在し、蓄積されたセンサ取得情報を検索するシステムが存在している[4]。

RDF では、任意の事物をリソースとして記述可能なため、任意の粒度で空間情報を表現できる。そのため、サービス開発者の要求に応じた柔軟なサービス制御情報が表現可能となることが期待される。したがって、実空間の物理量を表現するセンサ情報と比較すると、サービス制御情報のほうが表現する情報の範囲が広い。そのため、情報を効率的に使用し、柔軟なサービスを提供するためには、各サービスで必要となる空間の状態情報とサービスの制御情報の RDF トリプルを整理する必要がある。

そこで、本研究ではこれまで、具体的なサービスの RDF ベース化を検討し、その際に得られる RDF トリプルを分析することで知識モデルを作成してきた[5]。また、知識モデルを用いてサービス制御が可能なシミュレータを開発することで、知識モデルの実現可能性や、サービスの実装手法について検討してきた[6]。

また、近年提出された「パーソナル情報保護と IT 技術の調査」報告書では、自己情報コントロールの構成要素として収集制限と利用制限が挙げられている[7]。このうち、収集制限に関しては、事前にユーザ要求を取得し、それに合わせてセンサ使用可否を制御する手法が提案されてきた[2]。しかし、利用制限に関しては、ユーザ要求による利用制限を反映させる手法は検討されていない。

そこで、本稿ではプライバシーを考慮した知識モデルを作成し、また、それに付随する処理をシミュレータに追加することでプライバシーを考慮した知識モデルの実現可能性について検討を行う。

2 本研究室の取り組み

2.1 プラットフォームの開発

1 章で述べたように、本研究室では、セン

サ情報やユーザ情報、サービスの状態を RDF で表現して、センサネットワーク空間内の状態情報を一元管理する手法を研究している。この研究では、センサネットワーク空間内のサービスを、そのサービス制御に関係する RDF トリプルで制御することにより、ユーザの要求に応じた情報提供やサービス提供を目指している。また、この研究では現在ユーザのプライバシー情報の保護と高品質なサービスの提供を両立させるために、ユーザの要求を RDF トリプルの使用権限へと反映させることにより、ユーザの要求を満たす適切な情報利用が可能なプラットフォームの開発を進めている。このプラットフォームの基本的なシステムの機能概要を図 1 に示す。このプラットフォームの特徴は、センサが取得した空間情報から RDF トリプルを生成することであり、RDF トリプルを基に提供するサービスを選択することである。これらの処理は、それぞれ RDF トリプル生成ルール管理部とサービス実行ルール管理部で行われている。これらの機能についてより詳細に述べる。RDF トリプル生成ルール管理部では、RDF トリプル生成ルールに基づき、取得したセンサ情報などから RDF トリプルを生成する。また、ここでは RDF トリプル生成ルールを RDF トリプルが生成されるトリガとなるルールと、生成される RDF トリプルを 1 組として管理している。RDF トリプル生成ルールの例を表 1 に示す。サービス実行ルール管理部では、サービス制御部から渡された RDF トリプルとサービス実行ルールを照合することで、提供可能なサービスを選定する。また、ここではサービス実行ルールを提供するサービスと提供するトリガとなる RDF トリプル、サービスへの実行命令を 1 組として管理している。サービス実行ルールの例を表 2 に示す。

表1 RDFトリプル生成ルール

ルール	生成RDFトリプル
人が座標(X,Y)にいる	(人, 座標, (X,Y))

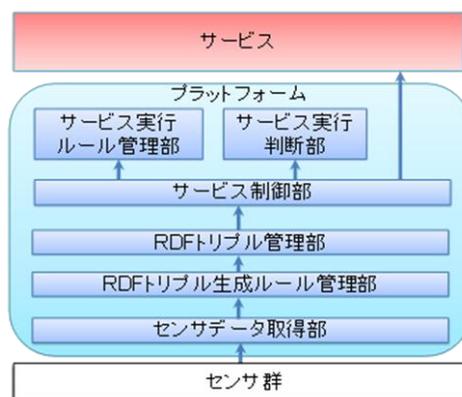


図1 システムの機能概要

表2 サービス実行ルール

提供サービス	必要なRDFトリプル			実行命令
	主語	述語	目的語	
照明制御	人	場所	部屋	点灯

2.2 知識モデルの作成

本研究ではこれまで、プラットフォーム上で、柔軟なサービス実行ルールを作成可能にするために、RDF グラフのモデル化することで知識モデルを作成してきた[5]。この知識モデルの特徴は、(述語名, 主語, 主語名), (述語名, 目的語, 目的語名) というようにリソースの関係性を主体として、その関係の主語となるリソース, 目的語となるリソースという表現をする点である。これは、RDF トリプルを RDF グラフに追加する場合、述語に着目してリソースがどの分類に属するかという推論が可能であるためである。

2.3 シミュレータの開発

提案されたプラットフォームの処理内容をもとに実験を行い、2.2節で述べた知識モデルの実現可能性を示した。しかし、このプラットフォームは処理の概要を示したものであるため、それぞれの処理の実現可能性や妥当性についての評価はできていなかった。そこで、より正確な評価を行うために、実際に知識モデルが適用可能なシミュレータの開発を行った[6]。

3 課題

3.1 プライバシを考慮した知識モデルの作成

提案されたプラットフォームでは、全ての情報を RDF 形式で管理している。しかし、これまで作成してきた知識モデルはプライバシー情報の利用は考慮されていない。そのため、実行可能サービス選定時には全てのユーザの情報を自由に利用していた。例えば、ユーザの位置情報を用いてユーザが位置している区域の照明機器を点灯するサービスを提供する際には、ユーザの座標、区域などの位置情報をユーザに問い合わせることなく利用していた。また、作成した知識モデルには情報粒度の概念がないため、プライバシー情報等は全て並列的に表現されている。そのため、サービス選定時により抽象度の高い情報のみ利用することができない。これらの問題を解消するためには、実際にユーザの個人情報を利用したサービスを想定することで、ユーザ情報の利用可否をユーザがコントロール可能であるような構造の知識モデルを作成する必要がある。

3.2 ユーザ要求反映処理の開発

これまで、作成した知識モデルを評価するために、2.4 節で述べたように RDF トリプルやサービス実行ルールを入力方法、推論処理やサービスの実行手法などサービス提供に最低限必要な処理を行うシミュレータを開発した。しかし、このシミュレータにはユーザ要求を入力したり、利用可能情報のみを抽出したりするような処理は開発されていないため、プライバシーを考慮した知識モデルを用いた実験を行うことができない。この問題を解決するためには、シミュレータにユーザ要求を反映させる処理を追加する必要がある。また、具体的な処理の内容はプライバシーを考慮した知識モデルを用いた机上実験を行うことで明らかにする必要がある。

4 プライバシを考慮した知識モデルの作成

4.1 想定サービスの検討

サービスとして大学内の入室をユーザの所属情報によって管理するものを検討する。例えば、ユーザが大学に在籍していれば門のカギを開けるようなサービスである。この時、ユーザの所属情報はサービス管理者が適宜変更できるものとし、ユーザはサービスが利用できる所属情報を指定できるものとする。想定環境については、今回は大学構内の正門と、構内の 2 つの棟、そして各棟内の 2 つの教室という小規模な環境を想定する。それぞれの入口にサービスで出力される入室許可情報と連動する鍵が 1 つあるものとし、サービスはセンサによって対象者の所属情報を取得できるものとする。基本的な入室管理サービスとして、ユーザの所属と入室許可の関係性を表 3 に示す。この表は、大学敷地内に入るときにはユーザが大学に在籍していること、棟に入るには対応した学部にも所属していること、教室で専門科目を受けるなら対応した学科にも所属していることが必要なことを示している。

表 3 所属情報と部屋の対応関係

所属情報	情報システム学科	生命情報学科	人文学科
入室可能	A10室	A11室	B10室
所属情報	英文学科	工学部	文学部
入室可能	B11室	A棟	B棟

次に、想定サービスからサービス提供に必要な情報を抽出する。まず、サービス内容からサービス実行のトリガとなる情報を分析し、サービス実行ルールを作成する。例えば、教室に入室する際はユーザによる所属情報の入力があり、入室を許可された場合に提供される。したがって、このトリガとなる情報をそれぞれ RDF トリプルで (ユーザ, 所属, X 学科), (ユーザ, 許可, 教室 A10) と表現することができる。同様に、正門に入る際、各棟に入る際のサービス分析を行う。その結果

取得できたサービス実行ルールを表 4に示す。

次に、これらの RDF トリプルが生成できるように、RDF トリプル生成ルールを作成する。この時、所属と各場所の入室可能性を示す RDF トリプルはサービス管理者によって入力されているものとする。例えば、大学に在籍しているときに正門を通れることを示す RDF トリプルは (A 大学, 入室可能, 正門) となる。また、サービス管理者はユーザの初期の所属情報を IC カードに入力しているものとする。

表4 入室管理のサービス実行ルール

提供サービス	トリガとなるRDFトリプル			実行命令
	主語	述語	目的語	
入室管理	ユーザ	許可	部屋名	点灯
	入室管理	状態	閉	

4.2 プライバシを考慮した知識モデルの作成

4.1節ので得られた情報を基に RDF グラフのモデル化を図る。知識モデルを作成する方法は、2.2節で述べたように、リソースと述語の抽象化である。同様の手法で今回の想定サービスで用いるリソースの抽象化も行う。まず、事前入力される空間情報のリソースについて検討する。これは直観的に大学名、棟名、教室名、学部名、学科名という抽象化が可能である。また、これらの抽象化した情報は全ての教室は必ず棟に属するという包含関係が成立している。この包含関係を RDF トリプルで (教室名, rdfs:subClassof, 棟名) のように表現する。ここで使用される rdfs:subClassof という用語のうち、rdfs とは一般的なリソースのカテゴリを定義するためのもで、subClassof とは抽象化されたクラスからの派生クラス定義するもので、派生クラスは親クラスの性質を継承する。次に IC カードに保存されるユーザの所属情報について検討する。ユーザについては対象が1人なので、抽象化を行わない。所属情報は学部名や学科名など個別に抽象化ができるが、ここで用い

るリソースはユーザの所属先という観点なので「所属内容」というより高い抽象化を行う。これらの情報を基に知識モデルとして表現したものを図 2に示す。

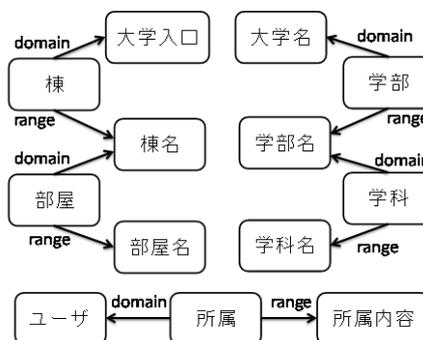


図2 知識モデル

5 ユーザ要求反映処理の開発

5.1 処理要件

この機能は、まずユーザ要求を入力し、次にユーザ要求を適用する処理を行い、最後に使用可能情報のみを出力するという3つのステップを要する。なお、この機能はセンサネットワーク空間で利用する情報を制限する処理であるため、入力サービス利用前に行い、ユーザ要求適用処理と使用可能情報は RDF トリプルの入力後に行われるものである。

この機能の各ステップの処理要件を述べる。まず、ユーザ要求の入力ではユーザが自身の所属情報のうちサービスに利用可能な情報を入力できる必要がある。この時、入力する情報はユーザ名と所属情報の二つである。これは RDF トリプルの生成に必要な (主語, 述語, 目的語) のうち、述語として指定される言葉は「所属」に限定され、目的語は既にサービス管理者によって DB 内にリソースが存在するためである。次に、ユーザ要求を適用する処理では入力された情報に使用許可を示す RDF トリプルを生成する必要がある。最後に、使用可能情報のみを出力する処理ではユーザが指定した所属情報のみ抽出してサービス制御部に渡す必要がある。

5.2 開発

開発環境は既開発されているシミュレータと同様である[6]。シミュレータ内の使用技術として RDF の処理に Jena を、DB 処理には MySQL を RDF グラフの可視化には Graphviz を用いている。

まず、ユーザ要求入力処理では、使用する所属情報の指定は手入力で行い、その情報から推論ルールを導出する。具体的には、指定された情報が存在したら、その情報に使用許可を示す RDF トリプルを追加するという推論規則を生成する。なお、この推論ルールの記述形式はシミュレータでサービス選定を行う際に利用するものと同様である。次に、ユーザ要求適用処理では、ユーザ要求入力処理で生成された推論ルールを Jena が持つ推論エンジンを使用して、RDF トリプルを新たに生成する。最後に、使用可能情報出力処理では、所属情報群のうちユーザの入力により使用可能となった情報をキーとして検索し、その情報を関連するユーザの属性情報を選択して抽出する。

5.3 評価実験

この機能の簡単な評価実験として、ユーザ要求の入力から使用可能情報の抽出までの一連の流れが自動的に実行可能であることを確認する。まず、サービス管理者が作成しておくユーザの所属情報として大学、学部、学科についての RDF トリプルを作成した。その後、ユーザが利用する所属情報の選択を手入力すると、図 3 のような推論ルールが生成されることが確認できた。次に、推論処理を行うと、生成された推論ルールを用いて図 4 のような RDF グラフを得ることができ、属性情報に使用許可の情報が追加されていることが確認できる。その後、抽出処理を行うと図 5 のような使用可能情報のみ存在する RDF グラフが得られることが確認できた。これにより、機能が要件を満たしており、ユーザの所属情報はユーザが意図したものだけが利用されるこ

とが確認できた。

```
@prefix pro: <http://modelsample/property/>
@prefix res: <http://modelsample/Teshiga/>

[(res:makoto, res:belong, res:infosys)
->(res:infosys, res:use_permit, res:yes)]
[(res:makoto, res:belong, res:engineering)
->(res:engineering, res:use_permit, res:yes)]
```

図3 ユーザ要求反映用推論ルール

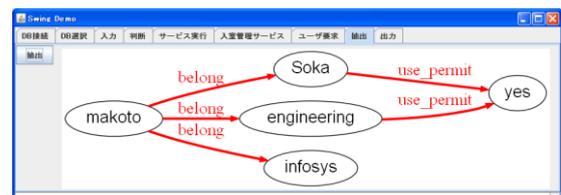


図4 ユーザ要求反映後の RDF トリプル

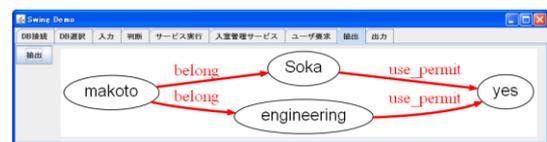


図5 利用可能情報を抽出した RDF トリプル

6 シミュレータを用いた実験

6.1 想定環境

想定空間は、4章で示したものと同様である。本実験では以下のシナリオを想定する。なお、作成した知識モデルとサービス実行ルールは事前に各 DB に格納されていることを前提とする。

- 1) 想定空間の初期状態を入力する。具体的にはサービス管理者が所属情報と建物との関係を示す空間情報とユーザの所属情報を示す RDF トリプルをシミュレータに入力する。
- 2) ユーザが作成された所属情報から全ての情報を使用すると入力
- 3) 2)で入力した情報を用いて使用可能となる RDF トリプルを推論処理で生成
- 4) 推論後に得られた入室管理サービスが実行可能か判断

5) サービスが入室可能な場所を表示
次に、2)の使用可能情報を大学，学部のみとし，利用制限がある状況で同様のシナリオを進める．また，このシナリオで入力される RDF トリプルの一部を表 5に示す．

表5 入力される RDFトリプルの一部

主語	述語	目的語
Soka	department	engineering
Soka	department	literature
engineering	faculty	infosys
engineering	faculty	bioinfo
literature	faculty	humanities
literature	faculty	English
Soka.ent	building	A

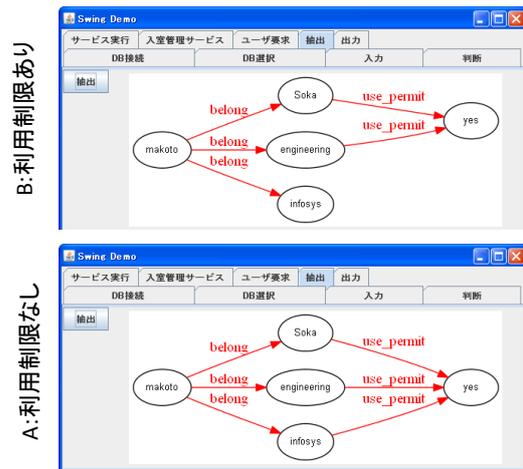


図7 利用可能ユーザ情報

6.2 実験結果

6.1節で述べたシナリオに沿ってシミュレータに RDF トリプルを入力して得られた結果を示す．今回作成した知識モデルをシミュレータに入力したものが図 6である．また，同様に図 7は入力されるユーザ情報である．ここで，A は利用制限なし，B は利用制限ありの場合を示している．この2つの情報とサービス実行ルールから推論を行った結果を図 8に示す．この図から推論処理によって，大量の RDF トリプルが自動的に生成されていることが分かる．また，この推論処理によって入室管理サービスが実行可能となることが分かった．その結果，ユーザが情報の利用制限を行うことで入室可能な部屋が変化したことが図 9により分かる．

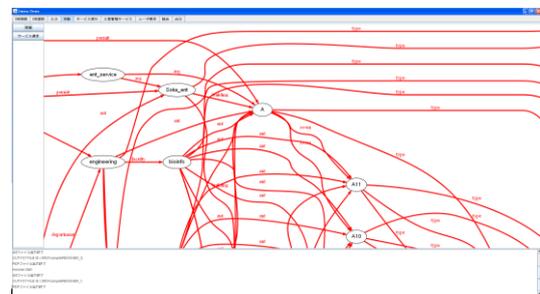


図8 推論処理後の RDF グラフの一部

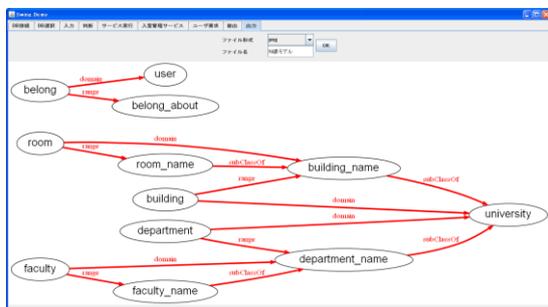


図6 知識モデル

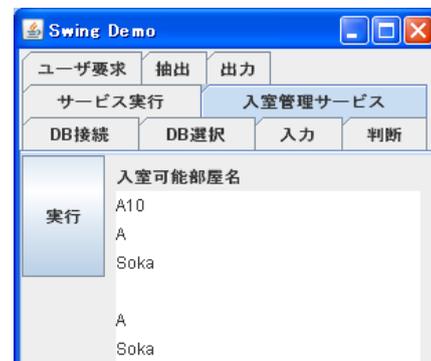


図9 入室可能部屋

6.3 考察

5章で述べたユーザ要求反映処理を追加したシミュレータを用いて，作成したプライバシーを考慮した知識モデルを用いたサービス制御が可能か検証した．6.2節の結果から，作成した知識モデルを用いることでユーザが自身の情報をコントロールした結果に合わせたサービス提供が可能であることが分かった．ま

た、一連の流れの中で自動的に、サービス提供が可能であることが確認できた。これは、4章で述べた机上での検証をシステムとして実際のセンサネットワーク空間での実現可能性を示す結果であると考えられる。この検討結果から、3章の課題に対する解決の見通しを得た。

しかし、包含関係の表現が追加されたことにより、リソース間に大量の関係性が生まれた。例えば、6章で行った実験では、わずかな知識モデルとユーザ情報を用いて推論することで図 8 のように大量の RDF トリプルが生成される。現在は、この RDF トリプルによる不都合はないが、今後 RDF グラフの規模が膨大になるときにどのような効果をもたらすか検討する必要がある。

7 今後の課題

7.1 知識モデルで得られるプライバシー情報を網羅的に把握する手法の検討

プライバシー情報を考慮した知識モデルを用いたサービス制御の実現可能性を示した。しかし、包含関係を表現することで大量の RDF トリプルが推論によって生成されることも分かった。そのため、単独ではプライバシー情報とならない情報でも他の情報と組み合わせることで、プライバシー情報となる RDF トリプルが生成される可能性がある。したがって、提案した知識モデルも用いることで、生成される可能性のあるプライバシー情報を表示する手法が必要となる。

7.2 RDF グラフの可視化手法の改良

現状のシミュレータで RDF グラフを平面座標で可視化している。しかし、図のように規模の大きな RDF グラフを表示する際には、どのような情報が新たに得られたのか、プライバシー情報についての RDF トリプルはどこか直観的に把握することができない。そのため、例えば大規模な RDF グラフからプライバシー

情報のみを選別して効率的に取得することができない。したがって、より直観的な把握が可能な可視化手法を検討する必要がある。

8 まとめ

センサネットワーク空間の状態情報を効率的に利用したサービスを提供するために、RDF ベースのサービス実装手法の提供を目指す。本稿では、プライバシーを考慮した知識モデルの提案を行った。階層表現を導入し、ユーザ要求反映用の推論ルールを作成すること実現可能であることを示した。また、開発したシミュレータを用いた実験を通してこの知識モデルを用いたサービス制御の実現可能性を見出した。今後は7章であげた課題を解決していくことで、センサネットワーク空間における RDF ベースのサービスの実装手法を明確にしていく。

参考文献

- [1] 安藤繁ら (編著) : センサネットワーク技術—ユビキタス情報環境の構築に向けて, 安藤繁: ネットワークセンシングの背景, pp.1-40, 東京電機大学出版局(2005).
- [2] 栗津光一ら: ユビキタスセンサネットワークにおけるプライバシーを考慮した RDF 活用の動的な空間管理とサービス制御の検討, 情報処理学会マルチメディア・分散・協調とモバイル(DICOMO2010)シンポジウム, 同シンポジウム論文集, pp.1318-1325(2010).
- [3] W3C: RDF Primer, W3C(オンライン), 入手先 <<http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-primer-20040210/>>.
- [4] 野口博史ら: 住居内異種センサの統一的处理のための RDF センサ記述, 電子情報通信学会ネットワークロボット研究会 NR-TG-2, pp.7-12(2006.7)
- [5] 佐藤信ら: ユビキタスセンサネットワークにおける RDF ベースのサービス実装手法の検討, 情報処理学会マルチメディア・分散・協調とモバイル(DICOMO2011)シンポジウム, 同シンポジウム論文集, pp.749-756(2011.7).
- [6] 佐藤信ら: ユビキタスセンサネットワークにおける RDF ベースのサービス制御可能なシミュレータの提案, 情報処理学会マルチメディア・分散・協調とモバイル(DICOMO2012)シンポジウム, 同シンポジウム論文集, pp.921-928(2012.7).
- [7] IPA (2012.08) : パーソナル情報保護と IT 技術に関する調査, IPA