

インターネット上で実空間情報を 収集・管理するフレームワークの提案

田坂 和之[†] 川喜田 佑介[‡] 和泉 順子[†]

羽田 久一[‡] 砂原 秀樹[¶]

概要: 現在インターネット上において、現実世界の情報を利用したサービスを提供するために、インターネット上の仮想空間に現実の空間である実空間を表現する需要が高まってきている。需要の高まりと共に、センサがインターネットに接続される、いわゆるセンサネットワークが世の中に広がりつつあり、今後もさらに増加していくと予想される。しかし現状では、実空間に存在する情報の収集不足や各センサの仕様の違いなどの問題などがあり、実空間情報の収集方法や管理手法が確立されていない。そこで本稿では、インターネット上に実空間を表現し、実空間情報を利用したサービスを提供するために、実空間情報を収集、管理するフレームワークの提案を行なう。

キーワード: センサネットワーク、実空間、位置情報

The Proposal of a Framework which Collects and Manages the Real Space Information on the Internet

Kazuyuki Tasaka[†] Yuusuke Kawakita[‡] Michiko Izumi[†]

Hisakazu Hada[‡] Hideki Sunahara[¶]

Abstract: In order to offer the service which used the information of the real world, on the Internet the demand which expresses the real space has been increasing. With a rise of demand, a sensor network is spreading in the world. Moreover, it is expected that it continues to increase further. However, in the present condition, various problems exist. Therefore, neither how to collect the real space information nor the management is established. then, in order to offer service using real space information on the Internet, this paper proposes a framework which collects and manages the real space information.

Keywords: sensor network, real space, information of location

1 はじめに

現在インターネット上で提供されているサービスの殆どが、インターネット上に構築された仮想空間で提供されることにより、サービスを利用する者は、現実世界の時間や場所の概念を意識せずにサービスを利用する事が可能となる。例えば、遠くに離れている相手にメッセージを送りたい場合、送る相手ま

での物理的な距離を意識せず、メッセージを送る事が可能になった。一方で、ある場所にいる相手にメッセージを送るなど、物理的な位置に依存したサービスを提供する事が困難という欠点も存在する。そこで、物理的な位置に依存したサービスをはじめとする現実世界の情報を利用したサービスを提供するために、インターネット上で実空間を表現する需要が高まってきている。インターネット上で実空間を表現するというのは、実空間の中に存在する人や物、空間の物理的な位置関係を、仮想空間上にも対応づけることをいう。

本稿では実空間を、大学の会議室や駐車場、自動車などのような、生身の人間がその中に物理的に存在し、活動する空間と定義する。また、実空間の中

[†] 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

Graduate School of Information Science, NAIST

[‡] 慶応義塾大学 政策・メディア研究科

Graduate School of Media and Governance, Keio University

[¶] 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学センター

Information Technology Center, NAIST

に存在する人や物、空間が持つ情報を実空間情報と定義する。

さらには、車両に搭載されているワイパの動作により各地の降雨情報を取得するシステム [1] や、超音波により人や物の位置情報を測定し、特定の人から見て一番近い電話やプリンタを発見、利用するためのシステム [2] も存在しており、インターネット上に実空間を表現する需要が高まってきている。

インターネット上で実空間を表現する需要の高まりと共に、センサをインターネットに接続し、センサ情報をインターネット上でやり取りするセンサネットワークが世の中に広がりつつある。今後もインターネットに接続されるセンサの数は増加していくと予想される。直接インターネットに接続不可能なセンサも、インターネットの接続性が確保されている機器を介してインターネットへ接続する事が可能である。インターネットに接続されるセンサは、インターネット上に実空間を表現するために必要な実空間情報を収集する。

しかし、実空間情報を利用するサービスやアプリケーションが、センサへアクセスするための仕様を意識することなく、実空間情報を収集する方法、加工する方法などの実空間情報の収集方法や管理方法が確立されていない。そこで、インターネット上に実空間を表現し、実空間情報を利用したアプリケーションを提供するために、実空間情報の収集方法や管理方法のフレームワークを提案する。

本稿では、まず2章でインターネット上で実空間情報を収集・管理する場合の問題点について、3章では既存技術について述べ、4章ではインターネット上で実空間情報を収集・管理するフレームワークの設計について述べ、5章では今後の課題を述べる。最後に6章ではおわりにを述べる。

2 インターネット上で実空間情報を収集・管理する場合の問題点

インターネット上で実空間情報を収集・管理する場合に生じる問題として、以下のようなものが挙げられる。

1. 各センサへのアクセス及びアクセス制御
2. 各センサへアクセスするための仕様の違い
3. センサ単体による実空間情報収集の限界
4. 仮想空間上における実空間情報の存在場所

それぞれの問題点について、以下に詳述する。

1. 各センサへのアクセス及びアクセス制御

インターネット上で実空間情報を収集する場合、各センサへのアクセス及びアクセス制御が問題となる。本稿では、センサネットワークの

普及により、実空間に存在する情報を取得するデバイスとしてセンサを用いることにする。このため、センサから実空間情報を収集するために、必要な実空間情報を取得している全てのセンサへアクセスしなければならない問題が生じる。また、インターネット上で収集する実空間情報の中には、他人に公開できないプライバシーに関わる実空間情報も含まれることがある。そこで、プライバシーに関わる実空間情報を取得するセンサへのアクセス制御を行わなければならない。つまり、センサの中には、実空間情報の一般公開が不可能なセンサが存在する。一般公開不可能なセンサから実空間情報を収集する場合、アクセス制御が問題となる。

2. 各センサへアクセスするための仕様の違い

インターネット上で実空間情報を収集する場合、各センサへアクセスするための仕様の違いが問題となる。現在、各センサへアクセスするための仕様が統一されていない。このため、実空間情報を収集するデバイスとしてセンサを用いた場合、実空間情報を収集する際に、センサへアクセスするための仕様を考慮しなければならない。

3. センサ単体による実空間情報収集の限界

インターネット上で実空間情報を収集する場合、センサ単体による実空間情報収集の限界が問題となる。実空間には様々な情報が存在する。この実空間情報を取得するデバイスとしてセンサを利用することが多い。しかし、センサ単体で取得する実空間情報には限界がある。したがって、アプリケーションが、ある実空間情報を要求したとしても、センサ単体で取得不可能な実空間情報の場合、アプリケーションへ実空間情報を返すことが不可能である。

4. 仮想空間上における実空間情報の存在場所

インターネット上の仮想空間で実空間情報を管理する場合、収集した実空間情報の存在場所が問題となる。インターネット上の仮想空間において、現実世界の人や物、空間の情報の存在場所は、IP アドレスによって管理されている。しかし、現実の世界において、現実世界の人や物、空間の情報の存在場所は、物理的な場所で管理されている。そこで、インターネット上の仮想空間において、実空間情報の場所を、現実世界と同様に物理的な場所毎で管理するためには、仮想空間上で実空間情報の物理的な存在場所を整理する必要がある。

このように、インターネット上で実空間情報を収集・管理する場合、様々な問題が生じる。これらの問題を解決するために、様々な研究が存在している。

3 既存技術

現在、インターネット上で実空間情報を収集・管理するフレームワークが様々な場所で研究されている。中でも本稿では、カーネギーメロン大学に存在する Project Aura[4][5] 及びカルフォルニア大学バークレー校に存在する Ninja Project[6][7] で研究されているシステムについてとりあげる。二つのシステムはどちらも、対象範囲は屋内であり、場所に依存したサービスやアプリケーションを開発するためのフレームワークを提供している。

3.1 Aura

Aura は、コンピュータを意識させない環境を実現し、現実の世界とインターネット上の仮想空間を結合させており、場所に依存したサービスやアプリケーションを構築するためのフレームワークを提供している。Aura が提供するフレームワークの中には、Architecture for the Integration of Physical and Information Space (AIPIS) という機構が提供されている。AIPIS の中には、Environmental Control が存在し、アプリケーションが実空間の情報を決められたフォーマットで要求した場合、実空間の情報を返す役割を持つ。他にも AIPIS の中には、実空間の情報へのアクセス制御を行なう Context-based Security と呼ばれる機構も存在している。アプリケーションの存在場所としては、Aura Location Identifier (ALI) で表している。ALI は、実空間情報の場所を URL で表す。ALI により、自分の位置からの距離を指定し、指定した距離内に存在するサービスやアプリケーションを発見し、実行する事が可能である。さらに ALI により場所を指定し、指定した場所に存在するサービスやアプリケーションを発見し、実行する事も可能である。Aura では、AIPIS や ALI により、仮想空間上で実空間情報の存在場所を整理している。

3.2 Ninja

Ninja では、場所に依存したサービスやアプリケーションを構築するためのプラットフォームを Base と呼んでいる。また、Base 上では、サービスを分割し、関係させる事も可能である。サービスやアプリケーションの存在する場所は、Aura と同様に URL で表されている。したがって、仮想空間上で実空間情報の存在場所が整理されているため、自分のいる場所に一番近いプリンタ、しかもカラーという条件付き検索が可能であり、発見したプリンタの使用状況を知る事が可能である。

3.3 問題点

Aura、Ninja はともに、仮想空間上で実空間情報の物理的な存在場所の整理が行なわれている。また、

Aura では、各センサへのアクセス制御も行なっている。しかし、Aura や Ninja では、仮想空間と実空間を結びつけているが、各センサの仕様の違いを吸収する問題、センサ単体における実空間情報収集の限界の問題に対しては、考慮して設計されていない。そこで本稿では、Aura や Ninja で提供されている機能だけでなく、センサの仕様の違いを吸収し、センサ単体における実空間情報収集の限界の問題に対しても考慮したフレームワークを提案する。これにより、実空間情報を収集・利用するサービスやアプリケーションの支援を行なう。

4 インターネット上で実空間情報を収集・管理するフレームワークの設計

本章では、インターネット上で実空間情報を収集・管理するフレームワークを設計する。インターネット上で実空間情報を収集・管理するには、2章で述べたように様々な問題点が生じる。Aura や Ninja により、仮想空間上で実空間情報の存在場所が整理され、センサへのアクセス制御が可能となった。そこで提案するフレームワークでは、Aura や Ninja で提供されている機能に加え、センサの仕様の違いを吸収する問題、センサ単体における実空間情報収集の限界に対する問題を解決するような機能を持つフレームワークを提案する。

4.1 機能要件

本節では、Aura や Ninja が解決した問題に加え、センサの仕様の違いを吸収する問題、センサ単体における実空間情報収集の限界に対する問題を解決するようなフレームワークは、以下のような機能を持つ。

1. 実空間に存在するセンサへのアクセス管理
2. センサへアクセスする仕様の違いの吸収
3. センサ情報以外の実空間情報の提供
4. 人や物、空間の物理的な位置の整理

それぞれの機能要件について、以下に詳述する。

1. 実空間に存在するセンサへのアクセス管理
インターネット上で実空間情報を収集する場合、センサへのアクセス及びアクセス制御が問題であった。提案するフレームワークでは、無駄にアクセスしなければならないセンサを減らす機能が必要となる。つまり、各センサが取得した値の平均を出すアプリケーションなどの場合、各センサすべてにアクセスしなければならない

ない。しかし、それをまとめる機能があれば、アクセスすべきセンサの数を減らす事が可能となる。また、実空間情報が一般公開不可能なセンサに対しては、アクセス制御機能をもつ必要がある。つまり、提案するフレームワークでは、実空間に存在するセンサへのアクセスを管理する機能をもつ必要がある。

2. センサへアクセスする仕様の違いの吸収

インターネット上で実空間情報をセンサを用いて収集する場合、センサへアクセスするための仕様が違えば、アプリケーション毎にセンサへのアクセス方法を変更しなければならない。そこで、アプリケーションが実空間情報を収集する際、センサへアクセスするための仕様の意識させないためには、センサの仕様の違いを吸収する機能が必要である。

3. センサ情報以外の実空間情報の提供

インターネット上で実空間情報を収集する場合、センサ単体では、取得可能な実空間情報が限られてしまう。同じ機能をもつセンサが、ある空間に複数存在しているとする。センサ単体では、決められた範囲のみ情報を取得することが可能である。そこで、センサ単体では取得不可能な実空間情報を取得し提供可能にする機能が必要となる。この機能により、サービスやアプリケーションは、センサ単体で取得不可能な実空間情報も取得することが可能となり、様々なアプリケーションに利用することが可能となる。

4. 人や物、空間の物理的な位置の整理

仮想空間上で、物理的な位置に依存したアプリケーションをはじめとする実空間の情報を利用したアプリケーションを提供するためには、人や物、空間の現実世界での存在場所やお互いの位置関係を必要とする。そこで、インターネットの仮想空間上で、実空間に存在する人や物、空間情報の物理的な存在場所を整理する機能が必要となる。但し、人や物などで、直接インターネットに接続不可能な場合、インターネットの接続性が確保されている別の機器を用いてネットワークの接続性を確保し、その機器の場所を人や物、空間の場所とする。

このように提案するフレームワークでは、センサへアクセスするための仕様を隠蔽した形で、実空間情報をアプリケーションに提供することが可能である。また、センサ単体では取得不可能な実空間情報もアプリケーションに提供することが可能である。このため、提案フレームワーク上で記述されたサービスやアプリケーションは、センサへアクセスするための仕様を意識することなく、様々な実空間情報を取得することが可能となる。

4.2 提案フレームワークの構成

インターネット上で実空間情報を収集・管理するフレームワークは、Sensor、Real Space Manager や Application と4つのインターフェースで構成される。図1にフレームワークを利用したアプリケーションを含めた全体構成を示す。

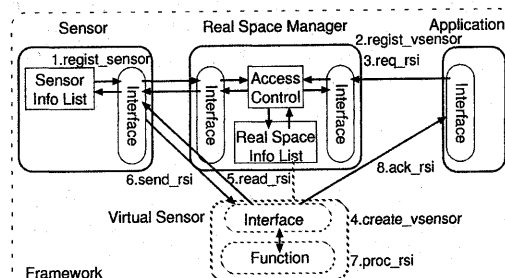


図 1: 全体構成

● Sensor

Sensor は、現実世界の人や物、空間の情報を取得するセンサである。Sensor の存在場所は、提案フレームワークの要素である Real Space Manager (RSM) で管理される。Sensor には、RSM や Virtual Sensor とセンサ情報 (Sensor Information) をやり取りするため、情報の入出力となるインタフェースを用意する。ここでいうセンサ情報とは、センサが存在する場所、IP アドレス、センサの名前、取得した値、取得した値の単位、構成要素、バッチセンサかアクティブセンサかといったモード情報のことである。以下に、Sensor が持つ機能を示す。

- － 実空間情報の取得
現実の空間に存在する情報を取得し、センサ情報とする。
- － センサ情報要求の受信
RSM や Virtual Sensor からのセンサ情報送信要求を受け取る。
- － センサ情報の送信
要求を受けた RSM や Virtual Sensor にセンサ情報を送信する。

● Virtual Sensor

Virtual Sensor は、Sensor で取得不可能な情報を収集する機能を持つ仮想センサであり、RSM によって生成される。Virtual Sensor は、Sensor や他の Virtual Sensor の値を加工し、自分の値とする。Virtual Sensor で加工する規則のことを本フレームワークでは Function と呼ぶ。Function は、加工要素となる Sensor や他の Virtual Sensor の値を用いて、Virtual Sensor の値を計算する。また、Virtual Sensor は、

Sensor と同じインタフェース及び機能を持つ。以下に、Virtual Sensor が持つ機能を示す。但し、Sensor が持つ機能は除く。

- Function の呼出
実空間情報を加工する規則を呼び出す。
 - センサ情報の要求
加工規則となる要素がもつ実空間情報を、要素となる Sensor か Virtual Sensor に要求する。
 - 実空間情報の加工
加工規則に基づき、新たな実空間情報を生成する。
- Real Space Manager (RSM)
RSM は、実空間を管理するマネージャである。以下に RSM が持つ機能を示す。
 - Sensor へのアクセス管理
RSM はセンサへのアクセスを制御する。
 - Sensor へアクセスするための仕様の吸収
アプリケーションにインタフェースを用意することにより、Sensor へアクセスするための仕様を吸収する。
 - Sensor の存在する場所の管理
実空間に存在する Sensor の場所を、場所毎に管理する。
 - Application
実空間情報を利用するアプリケーションである。アプリケーションを開発する場合、規定されたインタフェースを用意すれば、実空間情報を要求・取得することが可能となる。

4.3 提案フレームワークを用いたシステムにおける処理の流れ

本節では、提案フレームワークの処理の流れについて述べる。処理の流れについては、図 1、図 2 に示す。

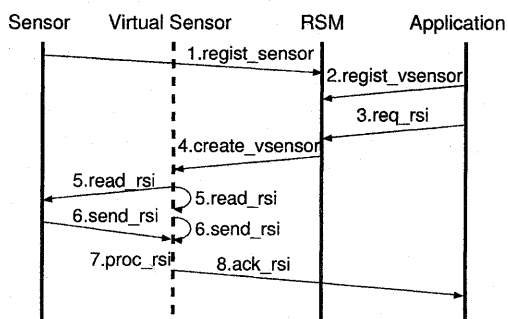


図 2: システムの流れ

1. センサ情報の登録 (regist_sensor)
Sensor は、RSM にセンサの場所情報やセンサが取得する情報を登録する。登録する際に RSM は、センサの物理的な位置を階層化して管理するため、XML を用いてセンサ情報を登録する。
2. 仮想センサ情報の登録 (regist_vsensor)
仮想センサ情報の登録は、実空間情報を要求する Application が行なう。仮想センサ情報の登録は、RSM に管理している実空間情報のリスト (Real Space Info List) を要求し、RSM の実空間情報リストに、要求する情報がない場合に行なう。登録を行なう方法は、Web 上にて XML を用い、登録を行なう。XML を用いて登録行なう場合、センサ情報の他に、仮想センサがもつ Function の内容、つまり加工規則及び、加工要素も記述する。
3. 実空間情報の要求 (req_rsi)
Application は、Web 上から XML を用いて RSM を指定し、実空間情報を要求する。
4. 仮想センサの生成 (create_vsensor)
Application から要求を受けた RSM は、要求の受けた実空間情報を値にもつ Virtual Sensor をメソッドとして生成する。
5. センサへ実空間情報の要求 (read_rsi)
Function の要素がもつ加工に必要な実空間情報を、Sensor または他の Virtual Sensor に問い合わせる。Virtual Sensor がもつインタフェースは、Sensor がもつインタフェースと同じであり、他の Virtual Sensor から実空間情報の要求を受けることを可能にしている。これにより、再帰的な実空間情報の加工を可能とする。
6. 実空間情報の送信 (send_rsi)
実空間情報の要求を受けた Sensor もしくは Virtual Sensor は、要求元に要求を受けた同じデータフォーマットで実空間情報を送信する。
7. 実空間情報の加工 (proc_rsi)
Virtual Sensor は、Sensor もしくは Virtual Sensor から加工に必要な実空間情報を取得すると、Function を呼び出す。Function は、取得した実空間情報を元に、新たな実空間情報を生成する。
8. 実空間情報の提供 (ack_rsi)
Virtual Sensor が、Application から要求を受けた実空間情報を生成すると、生成した実空間情報を、Application へ提供する。

これによりアプリケーションは、取得したい実空間情報を RSM に登録する事が可能である。また、アプリケーションは、あらかじめ決められたインタフェースを持てば、センサにアクセスするための仕様を意識せず実空間情報を取得することが可能となる。さらに、アプリケーションは、センサからだけ

でなく、仮想センサからも実空間情報を、RSMに問い合わせるのみで取得することが可能となる。

4.4 評価

本節では、4章で挙げた機能要件に基づいて、提案したフレームワークの定性的評価について述べる。

- 実空間に存在するセンサへのアクセス管理
アプリケーションが、同じ機能をもつセンサの平均の実空間情報を要求する場合など、アクセスするセンサの数を減らす事が可能であり、一般公開されていないセンサへのアクセス制御が可能であれば、センサへのアクセス管理が達成されたといえる。
- センサへアクセスする仕様の違いの吸収
アプリケーションが、センサへのアクセスするための仕様を意識することなく実空間情報が取得可能であれば、センサへアクセスするための仕様の違いを吸収できたといえる。
- センサ情報以外の実空間情報の提供
アプリケーションの要求により、仮想センサが生成され、アプリケーションに要求された実空間情報が提供可能であれば、センサ情報以外の実空間情報を提供できたといえる。
- 人や物、空間の物理的な位置の整理
Real Space Manager (RSM) が、現実の世界に存在する人や物、空間の情報が、インターネットの仮想空間上で物理的な位置に応じて整理可能であれば、人や物、空間の物理的な位置の整理が達成できたといえる。

5 今後の課題

本稿では、Real Space Manager (RSM) の発見に関しては、既に発見されているものとしてフレームワークを設計している。実際には、センサ及び仮想センサが登録する場所、アプリケーションが実空間情報を問い合わせる場所がわからない。今後、RSMを発見する機構が必要となる。さらに、本稿では取り扱っていないが、他のRSMとの関係が必要となってくる。よって、RSMの分散化についても今後検討していかなければならない課題の一つである。現在までに、インターネット上で実空間を収集・管理するフレームワークの提案と設計を行なった。今後、フレームワークの設計を基に実装・実験を行ない、評価をとる。評価に関しては、定性的な評価のみ述べているが、定量的な評価も検討し、提案フレームワークの有用性を証明していかなければならない。

6 おわりに

現在までに、実空間情報を利用したサービスやアプリケーションを提供するための実空間情報を収集し、管理する方法が確立していない問題があった。実空間情報を利用したサービスやアプリケーションを提供するためには、インターネット上の仮想空間に実空間を表現する必要がある。そこで、インターネット上に実空間を表現し、実空間情報を収集し、管理するフレームワークを提案した。本提案により、アプリケーションは、センサへアクセスするための仕様を意識することなく、センサからの実空間情報ならびにセンサ以外の実空間情報も取得可能になった。これにより、実空間情報を利用したサービスやアプリケーションの支援をすることが可能となった。

参考文献

- [1] 佐藤雅明, インターネットにおける自動車情報の抽象化およびデータ辞書モデルの設計, Master's thesis, 慶應義塾大学 政策・メディア研究科, 2001
- [2] Andy.W.Alan, J, and Andy.H, "A New Location Technique for the Active Office", IEEE Personal Communications, pp.42-47 Oct.1997.
- [3] "OMRON RFID Japanese WEB", <http://www.omron.co.jp/card/rfid/>.
- [4] "Project Aura HOME PAGE", <http://www-2.cs.cmu.edu/aura/>.
- [5] David Garlan, Daniel P.Siewiorek, Asim Smailagic, and Peter Steenkiste:yu "Project Aura: Toward Distraction-Free Pervasive Computing", IEEE Pervasive computing, pp.22-31 April-June 2002.
- [6] "Ninja Project HOME PAGE", <http://ninja.cs.berkeley.edu/>.
- [7] Steven E. Czerwinski, Ben Y. Zhao, Todd D. Hodes, Anthony D. Joseph, and Randy H.Katz: "An Architecture for a Secure Service Discovery Service", Fifth Annual International Conference on Mobile Computing and Networks (MobiCom '99), Seattle, pp.24-35, WA, August 1999.