

# Viewlon によるセマンティック・センサネットワーク情報の可視化

## Viewlon: Visualize Information on Semantic Sensor Network

古山 真之\*<sup>1</sup>      向井 淳\*<sup>1</sup>      今井 倫太\*<sup>2</sup>  
 Masayuki Furuyama      Jun Mukai      Michita Imai

\*<sup>1</sup>慶應義塾大学 大学院理工学研究科      \*<sup>2</sup>慶應義塾大学 理工学部  
 Graduate School of Science and Technology, Keio University      Faculty of Science and Technology, Keio University

In recent years, it is prosperous to use sensor networks and acquire various information. In future, the middleware that manages various sensor data is necessary. Our laboratory proposes Semantic Sensor Network(SS) that applies an ontology to sensor data and makes it easy to treat them. However it is difficult for users to understand information on SS because they are related with each other complicatedly and change in terms of time. In addition it is necessary to not only give the users to information but also answer users' queries. To solve these problems, I propose Viewlon, the software to make information on SS visible. By Information Levels and Timeline View implemented to Viewlon, users can get information on SS easily. By the function to answer users' queries, users can get necessary information interactively. As a result of inspection, it is shown that Viewlon has enough ability to present information to user and gives answers to users' queries correctly.

### 1. はじめに

近年、様々な種類のセンサを用いてセンサネットワークを構築し、環境情報を取得するという研究が盛んに行われている。今後は、センサデータを統一的に管理する枠組みが必要になると思われる。

我々の研究室では、センサデータをシステムの持つクラスや推論規則といったオントロジーと結びつけることにより、センサデータを統一的に記述・管理することを目指したミドルウェア、セマンティック・センサネットワーク (SS) を提案している。クラス概念を用いることにより、実世界の多様なオブジェクトを統一的に管理することができる。そして、クラスとセンサデータを組み合わせて推論規則を生成することにより、単なる数値データではなく、人間にとって扱いやすい抽象度の高い情報を提供することができる。しかし SS ではセンサデータだけでなく、オントロジーに基づいた情報も持つため、情報間の関係は複雑である。したがって、人間が理解しやすいように情報を可視化して提示する必要がある。

SS 上の情報を可視化するためには以下の二つの課題がある。まず第一に SS 上のセンサ、インスタンス、クラスといった情報を統合して提示し、さらに時間軸方向の論理関係変化も提示しなければならないことが挙げられる。そして第二に、単に情報提示だけではなく、ユーザからの様々なクエリを処理できなければならないことが挙げられる。本研究では、上記の課題を解決する SS 上の論理関係可視化システム Viewlon を提案する。

### 2. セマンティック・センサネットワーク

SS は、クラス、インスタンス、センサ、推論規則の 4 つの要素からなる。図 1 に SS の構造を示す。本研究の目的は SS 上の要素や要素間の関係を可視化することである。以降で SS 上の個々の要素や要素間の関係について述べる。

#### 2.1 クラス

SS では、実世界に存在する様々なオブジェクトを統一的に扱うために、オブジェクトを抽象化した型として「クラス」を定義する。そしてクラスには、そのクラスに属するオブジェク

A: 古山真之, 慶應義塾大学大学院理工学研究科, furuyama@ayu.ics.keio.ac.jp

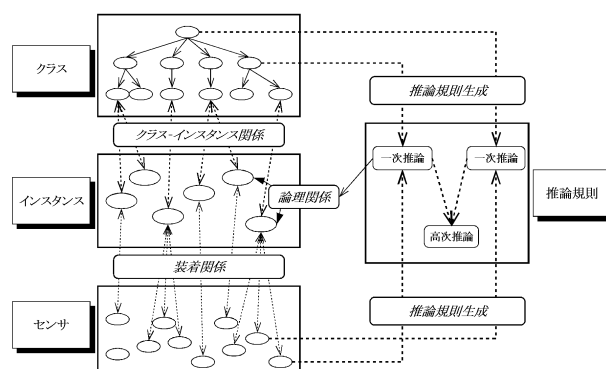


図 1: セマンティック・センサネットワークの構造

トが共通して保持する情報である「属性」を定義する。またクラス間に継承関係を定義することで、属性の扱いや推論規則生成を容易にする。クラス間の継承関係を表したものがクラス木である。

#### 2.2 インスタンス

SS では、実世界のオブジェクトはセンサが装着され、クラスが実体化されたインスタンスとして扱われる。インスタンスを生成する際に、インスタンスに付与された属性の内容をメタデータと呼ぶ。センサデータにメタデータを付与し、センサの解釈を統一的に扱うことを目的としたシステムとしては MeT[広田 他 05] がある。

#### 2.3 センサ

SS において、センサはインスタンスに装着され、そのインスタンスの情報を取得する役割を担っている。センサの例としては、3次元位置を検知する超音波 3次元タグ [Nishida et al. 03](図 2)、光、加速度、温度を検知する Mote[Madden et al. 03](図 3) がある。

#### 2.4 推論規則

推論規則は、センサデータからインスタンス間の論理関係を得るために用いられる。センサデータは実世界の環境に応じて動的に変化するので、その変化に応じて SS 上の論理関係も変化する。



図 2: 超音波 3次元タグ

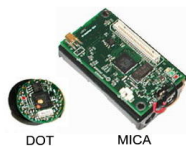


図 3: Mote 端末

### 3. 関連研究

#### 3.1 センサデータの可視化

センサネットワーク上のデータの可視化研究としては、例えば SpyGlass[Buschmann *et al.* 05] がある。SpyGlass は、センサネットワーク上のセンサデータやトラフィックを可視化するための要素をプラグインという形で提供することにより、センサネットワークを利用した開発を支援するフレームワークの研究である。しかし、SpyGlass はセンサデータとオントロジーを結びつけた情報の可視化をいう目的では設計されておらず、センサデータそのものに焦点を当てた研究である。そのため、取得したセンサデータをそのまま表示することしかできず、SS 上の情報の可視化に用いることはできない。またユーザからのクエリ処理機能は有していない。

#### 3.2 オントロジーに基づいた情報の可視化

オントロジーに基づいた情報を可視化する研究は、セマンティック Web の分野で盛んである [Harmelen *et al.* 01]。Harmelen らの研究は、セマンティック Web 上のオントロジーやインスタンス間の関係を集合表現やグラフ表現を組み合わせ可視化・提示するもので、ユーザのクエリに対する回答を可視化する機能も持つ。しかし、セマンティック Web の可視化研究の多くは、時間変化よりも構造そのものの可視化に重点を置いている。一方、SS は実世界を対象としているためセマンティック Web よりも時間の経過に伴う論理関係の変化は激しく、時間方向の情報提示が重要になる。したがって、単にセマンティック Web の可視化システムを SS に適用するだけでは不十分である。

### 4. Viewlon の提案

センサデータにオントロジーを適用することにより生じる関係を可視化し、さらにユーザからのクエリを処理するには、3. 節で挙げた既存研究では十分に解決することができない。そこで本研究では、SS 上の関係可視化システム Viewlon を提案する。

#### 4.1 全体のシステム構成

Viewlon はセンサデータ、インスタンス、クラスの情報を管理するサーバに接続し、センサの種類とセンサデータ、センサとインスタンスとの装着関係情報、インスタンスとクラスの関係情報を受信する。受信した情報と Viewlon 内で定義した推論規則によりインスタンス間の論理関係を構築する。そして、受信した情報と構築した論理関係を可視化して表示する。

#### 4.2 Viewlon に実装されたビュー・パネル

Viewlon には SS 上の情報を表示するメインビュー、一對のインスタンス間の論理関係の時間方向の関係の可視化を行うタイムラインビュー、センサデータや推論規則の表示やクエリの入力を行うための情報表示パネル、クラス木の構造を表示するクラス木表示ビュー、推論規則の追加削除を行うことのできる推論規則管理パネル、インスタンスの位置情報を 3次元空間に簡易表示する実世界位置表示ビューがある。以降で Viewlon の主要機能である、メインビューの情報表示レベル、タイムラインビュー、クエリの処理機能について述べる。

#### 4.3 情報表示レベル

Viewlon では、センサとインスタンス間の装着関係、インスタンスとクラスの関係、推論規則により生じるインスタンス間の論理関係をメインビューにおいて可視化する。センサ、インスタンス、クラスといった要素をノードで表現し、そのノード間を矢印で結んだグラフ表現、ノードを集めて表示する集合表現により要素間の関係を可視化する。しかし、これら 3つの情報を同時に可視化すると情報量が多くなり、人間の認知的負荷が大きくなるので、必要な情報とそうでない情報を適宜分けて表示する必要がある。

Viewlon では、メインビューに実装された情報表示レベルによりこの問題を解決する。具体的には、センサ表示レベル、センサとインスタンスの関係表示レベル、インスタンス間の関係表示レベル、インスタンスとクラスの関係表示レベル、クラス表示レベル、クラス木表示レベルという 6 段階の情報表示レベルを導入する。図 4 は、「センサとインスタンスの関係表示レベル」の表示例である。個々のセンサは円で表現され、インスタンスごとに集合表示されている。図 4 では、人間から見て Front(前方) の関係にあるものに対して矢印が描画されている。情報表示レベルの変更は、図 4 中のスライダバーにより行う。

情報表示レベルを導入し各レベルにおいて重要度の高い情報を表示することにより、SS 上の複雑な情報を絞り込んで提示することが可能になる。

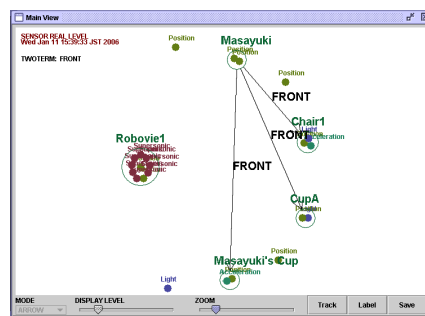


図 4: センサとインスタンスの関係表示レベル

#### 4.4 タイムラインビュー

SS では、実世界の環境変化に応じてインスタンス間の論理関係が変化するので、時間方向の論理関係変化を捉えることのできる可視化も必要である。しかし、センサ・インスタンス・クラスの関係と論理関係の時間変化をまとめて可視化することは、人間の認知的負荷を考えると問題である。したがって、時間方向とセンサ・インスタンス・クラスの関係の情報は分けて、可視化・情報提示する必要がある。

Viewlon では、タイムラインビューによりこの問題を解決する。図 5 にタイムラインビューの構成を示す。ユーザはリストから対象となるインスタンスを 2 つ、表示したい論理関係を 1 つ選択する。選択された論理関係を導く推論規則があるので、ビュー上に線が描画される。図 5 では、人間から見てイスのインスタンスが Front(前方) の関係にある時間帯に、線が描画されている。ある時間範囲の一對のインスタンス間の論理関係を可視化する機能により、時間軸方向の論理関係変化を捉えることができる。

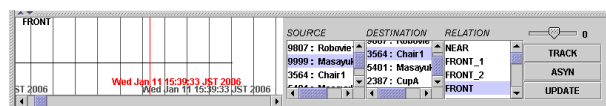


図 5: タイムラインビュー

#### 4.5 クエリ処理機能

Viewlon は、ユーザからのクエリに対する回答をメインビューの「インスタンスの関係表示レベル」において表示する機能を持つ。これにより、ユーザは SS 上の情報をインタラクティブに得ることができる。クエリは、ユーザが情報表示パネルに実装されたテキストボックスにクエリを入力し、ボタンを押すことで確定される (図 6)。クエリはインスタンスの関係表示レベルのときのみ入力可能である。入力されたクエリは保存され、インスタンス間の論理関係が時間変化した際に回答が動的に変化して表示される。

Viewlon ではインスタンス間の論理関係に関するクエリを扱う。クエリは一回述語論理に基づいた形式を採用し、一項関係と二項関係をサポートしている。一項関係のクエリは  $RelationName(X)$  の形式、二項関係のクエリは  $RelationName(A, X)$  または  $RelationName(X, A)$  の形式で書くことができる。A はユーザにより指定された特定のインスタンス名、X は実際にユーザが知りたい  $RelationName$  の関係を満たすインスタンス群になる。クエリに対する回答、すなわち、クエリを満たすインスタンスはメインビューで集合表示される。ここで二項関係 Front(前方) を例に挙げて説明する。3 つのインスタンス A, B, C が存在し、A から見て B と C が、B から見て A が前方 (Front) にある場合を想定する。このとき、クエリとして  $Front(A, X)$  と入力すると、メインビューではインスタンス B と C が集合として表示される。また  $Front(X, A)$  と入力すると B のみが集合として表示される。

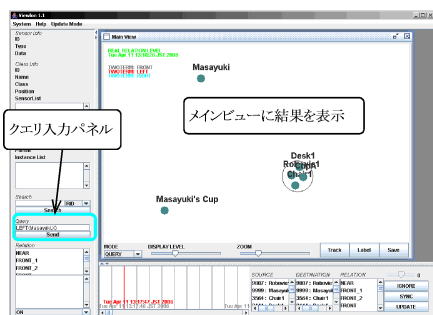


図 6: クエリ処理の方法

### 5. 動作検証

本節では、Viewlon の可視化機能の検証、クエリの処理機能の検証、情報提示能力の検証結果について述べる。Viewlon の可視化機能の検証では、実世界での位置関係変化がメインビュー、タイムラインビューで正しく可視化されるか検証した。クエリ機能の検証では、シミュレーションデータにより定義された環境においてユーザから与えられたクエリに対する回答が、適切に可視化されるかを検証した。Viewlon の情報提示能力の検証では、メインビューにおいてノード数と集合の収束する時間の関係について実験を行い、情報提示可能なノード・集合数を検証した。

#### 5.1 可視化機能の検証

実世界のオブジェクトに 3 次元位置を計測できる超音波 3 次元タグ [Nishida et al. 03] (以降、位置センサと呼ぶ) を装着し、オブジェクト間の位置関係がメインビューにより正しく可視化されるかを検証した。また論理関係の時間変化がタイムラインビューにより正しく可視化されているかについても検証した。使用したオブジェクトは、本、ペットボトル、コミュニケーションロボット Robovie である。検証では、ペットボトルを Bottle クラスのインスタンス BottleA、本を Book クラス

のインスタンス YellowBook, Robovie を Robot クラスのインスタンス Robovie1 とした。Robovie1 の前にある本とペットボトルを移動させ、Viewlon の「インスタンス間の関係表示レベル」の集合表現を用いて、Robovie1 の Front(前方) の関係にあるインスタンスが正しく可視化されるか検証した。検証結果を図 7 から図 9 に示す。

BottleA と YellowBook が Robovie1 の前にあるときは、Viewlon の画面中では BottleA と YellowBook が Front の集合に含まれて表示される (図 7)。BottleA を Robovie1 の前から除くと、Viewlon の画面中の Front の集合は YellowBook のみに (図 8)、さらに YellowBook を除くと、画面中の集合を表す円が消える (図 9)。

一方、タイムラインビューの動作を見ると、Robovie1 の前に BottleA があるとき、Front の関係を表す線が描画されている (図 7)。Robovie1 の前から BottleA を取り除くと、Front の関係を表す線が現在の時刻を表す緑のバー付近で描画されなくなる (図 8)。また図 8 の過去の時刻を見ると、図 7 のときの線が描画されていることが分かる。Robovie1 の前から BottleA が取り除いてから時間が経過した状態では、Front の関係を表す線がタイムラインビュー上で描画されていない (図 9)。

検証結果から、Viewlon の「インスタンス間の関係表示レベル」の集合表現において、インスタンス間の論理関係が正しく可視化・情報提示されることが示された。またタイムラインビューにより、SS 上の情報の論理関係の時間変化も正しく可視化されることが示された。

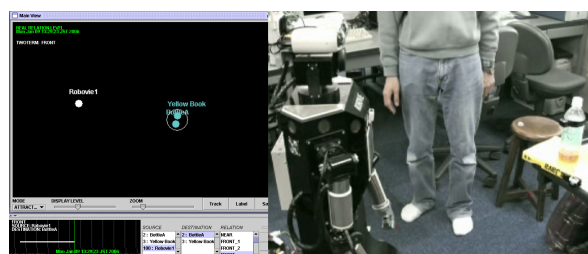


図 7: Robovie1 の前に BottleA と YellowBook があるとき

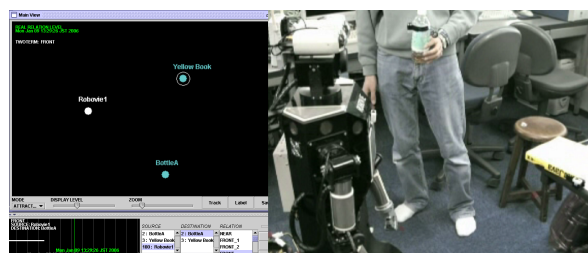


図 8: BottleA を除いたとき

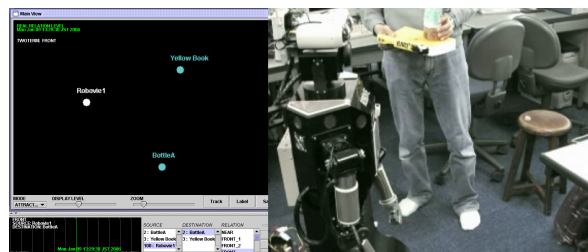


図 9: BottleA と YellowBook を除いたとき

#### 5.2 クエリ処理機能の検証

シミュレーションデータを用いて定義した環境において、クエリ処理機能の検証を行った。表 1 の 6 つのインスタンスが

環境内にあると想定し、各インスタンスには位置センサが取り付けられていると仮定した。想定した環境を図 10 に示す。あるインスタンスから見て他のインスタンスが Left(左)であるという論理関係に関する 2 種類のクエリを与え、Viewlon がクエリの回答を正しく可視化して提示できるか検証した。クエリに対する回答はメインビューの「インスタンスの関係表示レベル」の集合表示を用いて表示する。実世界位置表示ビューの画面と併せて、結果を図 11, 図 12 に示す。

クエリとして LEFT(Masayuki, X) と入力すると、Masayuki から見て Left の関係にあるノードが集合表示される (図 11)。クエリとして LEFT(X, CupA) と入力すると、CupA に対して Left の関係を持っているノードが集合表示される (図 12)。

検証結果から、想定した環境において Viewlon はユーザからのクエリに対する回答を正しく可視化することが示された。

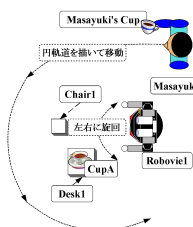


図 10: 想定環境

表 1: インスタンスとクラスの関係

インスタンス名	クラス
Masayuki	Human
CupA	Cup
Masayuki's Cup	Cup
Chair1	Chair
Robovie1	Robot
Desk1	Desk

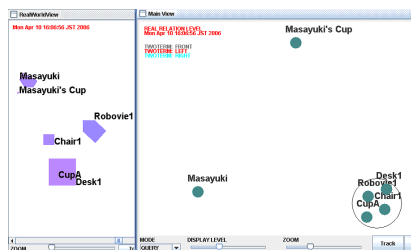


図 11: クエリ LEFT(Masayuki, X) に対する結果

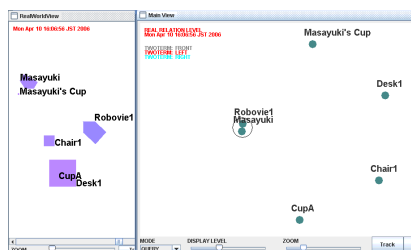


図 12: クエリ LEFT(X, CupA) に対する結果

### 5.3 メインビューでのノード数と集合の収束時間の評価

情報表示レベルをメインビューの「センサ表示レベル」から「センサとインスタンスの関係表示レベル」に情報表示レベルを変更し、ノードが集合として収束するまでの時間を計測した\*1。実験では、1 個のインスタンスにつき 5 個のセンサが装着されていると仮定した。測定結果を図 13 に示す。

図 13 のグラフを見ると、インスタンス数が 25 個までは収束時間の増加は緩やかだが、インスタンス数が 40 個以上になると収束時間が指数的に増加している。この結果から、今回テストした最大個数の 60 個以上のインスタンスをメインビューで可視化することは実用上不可能であり、実用可能なインスタンス数は最大で 25 個 (センサ数は 125 個) 程度であるといえる。

\*1 測定に使用したマシンは、CPU : Mobile AthlonXP 1700+(周波数 1.46GHz)、メインメモリ : 320MB、OS : Windows XP である。

1 個のインスタンスに 5 個のセンサが装着されているという仮定は、かなり多めに見積っているということ、Viewlon の適用範囲は一部屋なので数十個のインスタンスを可視化できれば十分であるということ踏まえると、今回の検証結果は Viewlon が一般的な使用環境で十分利用可能であることを示している。

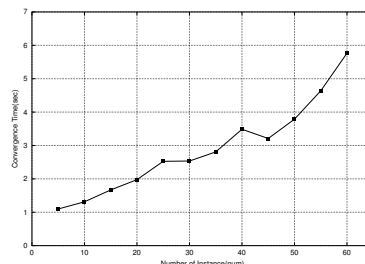


図 13: インスタンス数と収束時間

## 6. 結論

本研究では、セマンティック・センサネットワーク (SS) 上の関係可視化システム Viewlon の設計と実装を行った。SS では、センサとインスタンス間の装着関係、インスタンス間の論理関係、クラスとインスタンスの関係があり、情報が複雑に絡み合っているため、人間に認知的負荷がかかるという問題があった。Viewlon では、メインビューに実装された情報表示レベルとタイムラインビューにより、SS 上の関係を整理して提示することを可能にした。またクエリ処理機能により、ユーザが必要とする SS 上の情報を取り出すことを可能にした。

実データを用いた検証により、Viewlon のメインビュー、タイムラインビューが SS 上の情報を正しく可視化できることが示された。シミュレーションデータを用いた検証により、クエリ機能が正しく動作することが示された。またメインビューにおけるセンサ数とインスタンス数の評価により、一般的な SS の使用レベルでは Viewlon が十分な性能を持つことが示された。今後は、多種類のセンサを用いたより複雑な実環境での動作検証、クエリ処理機能の充実を行うことを考えている。

## 参考文献

[Nishida et al. 03] Y. Nishida, H. Aizawa, T. Hori, N. Hoffman, T. Kanada and M. Kakikura. 3D ultrasonic tagging system for observing human activity, *Proc. IEEE Int. Conf. IROS 2003*, pp.785-791, 2003.

[Madden et al. 03] Samuel Madden, Michael J. Franklin, Joseph M. Hellerstein, Wei Hong, ACM The Design of an Acquisitional Query Processor For Sensor Networks, *SIGMOD Conference*, pp.491-502, 2003.

[Harmelen et al. 01] Frank van Harmelen, Jeen Broekstra, Christiaan Fluit, Herko ter Horst, Arjohn Kampman, Jos van der Meer, Marta Sabou. Ontology-based Information Visualisation, *Proc. IEEE Int. Conf. Information Visualization*, pp.546-554, 2001.

[Buschmann et al. 05] Carsten Buschmann, Dennis Pfisterer, Stefan Fischer, Sándor P. Fekete, Alexander Kröllner. SpyGlass: A Wireless Sensor Network Visualizer, *SIGBED Review*, pp.1-6, 2005.

[広田 他 05] 広田 裕, 川島 英之, 佐竹 梅, 梅澤 猛, 今井 倫太: セマンティック・センサネットワークの実現に向けた実世界指向メタデータ管理システム MeT の設計, *情報処理学会研究報告*, 2005-ICS-141, pp.29-36, 2005.