

場の意味を考慮したユーザの状況推定

山田 直治 坂本 憲司 國頭 吾郎 山崎 憲一

(株) NTT ドコモ ネットワーク研究所 〒239-8536 神奈川県横須賀市光の丘 3-5

E-mail: {yamada, sakamoto, kunito, yamazaki}@netlab.nttdocomo.co.jp

あらまし システムがユーザの状況を見守り、状況に合わせてサービスを提供するためには、状況を正しく推定することが重要となる。しかしながら、例えばユーザがモノを“置いた”のか“落とした”のかを区別するような場合には、従来の人とモノの距離関係や、位置座標情報を用いる手法だけでは、動的な空間の意味を推定することができず不十分である。本稿では状況に応じて動的に生成される空間を扱うために場という概念を新たに導入し、ユーザの状況を従来よりも正確に理解する手法を提案する。

キーワード ユビキタスコンピューティング, RFID, 状況推定, 空間認識

Inference of Users' Situation using Semantics of Field

Naoharu YAMADA Kenji SAKAMOTO Goro KUNITO Kenichi YAMAZAKI

Network Laboratories, NTT DoCoMo, Inc. 3-5 Hikarinooka, Yokosuka-shi, Kanagawa, 239-8536 Japan

E-mail: {yamada, sakamoto, kunito, yamazaki}@netlab.nttdocomo.co.jp

Abstract This paper presents a new way to infer users' situation more precisely than conventional methods. It allows applications to provide services to users properly based on their activity by inferring their situations precisely. Existing researches focus on the distance between an object and a person, and location dependent information to know users' activities; however, these methods are insufficient to distinguish between “putting” an object and “losing” a property. This paper introduces a new concept, “Field”, based on objects on a space, and it helps users' accurate situations to be inferred.

Keyword Ubiquitous Computing, RFID, activity recognition, space recognition

1. はじめに

近年、計算機端末の小型化・高機能化に関する目まぐるしい発展により、1991年にMark Weiserにより提案されたユビキタスコンピューティングという概念[5]を実現する環境は着実に整いつつある。ユビキタスコンピューティング環境を実現する計算機端末のひとつとして、現在RFID(Radio Frequency Identification)タグが目ざされている。RFIDタグは小容量メモリと通信モジュールを有しており、数cmから数十mの距離で通信を行うことができる。RFIDタグは最近では次世代のバーコードとして主に物流分野等で注目され、アメリカ国防省ではすべての納入業者に対して2005年までにRFIDタグ貼付を義務づける発表がなされている[8]。またEPCglobal[4]やUbiquitous ID Center[9]では、RFIDタグのID体系やRFIDタグが貼付された物体に関する情報を管理する手法について標準化活動を行い、現在では実証実験の段階まできている。

ユビキタスコンピューティング環境の実現によって、ユーザの身の回りには常に多くの計算機資源が存在し、それらが実世界の情報を収集し、それらの情報

を解析することで、ユーザを含む実世界全体の状況を理解する。それによってユーザがサービスを明示的に要求していなくても、適切なサービスを適切な時にユーザに提供することができる。例えば、ユーザが携帯を落としたことに気付かないとき、システムが実世界の情報を収集し解析することでユーザが携帯電話を落としたことを理解することができれば、ユーザに通知するようなサービスなどを提供することができる。このようにユーザが明示的にサービス要求をしなくても、遍在した計算機資源から構成されるシステムがあたかもユーザを“見守り”、ユーザの状況を理解し、能動的かつさりげなく提供するサービスを、我々はインビジブルサービスと呼んでいる[10]。

インビジブルサービスを実現するためには、システムが実世界から得られる情報を元に状況をいかに推定するかが重要となる。そこで本稿では状況の推定手法について以下の構成で述べる。第2章では状況を推定するための要求条件、及び本稿で対象とする典型的なインビジブルサービスのサービスシナリオについて述べる。第3章では従来技術を用いた状況推定手法につ

いて説明し、第2章に挙げたサービスシナリオを実現する上での問題点をまとめる。続いて第4章では本稿で提案する場という概念について説明を行い、サービスシナリオを実現できることを示す。そして第5章では関連研究についてまとめる。

2. 状況推定

本章ではインビジブルサービス実現のための要求条件、及び本稿が対象とする典型的なサービスシナリオについて述べる。

2.1. 要求条件

前章で述べたインビジブルサービスを実現するためには、状況を正確に推論することが重要となる。システムがユーザの状況を誤って理解してしまうと、ユーザにとって不必要なサービスを提供することとなる。例えば、ユーザが会社の自分のデスクにカバンを置いてトイレへ向かったとする。この時システムが誤って“ユーザがカバンを落とした”と判断すると、落とし物を通知するサービスがユーザに提供されてしまう。このように実世界を正確に理解しないことによる不適切なサービス提供を防ぐことがインビジブルサービス実現に向けた大きな課題のひとつであると言える。したがって要求条件は以下とする。

要求条件：状況を正確に理解すること

2.2. 前提条件

本稿では、次のような環境を仮定している。

- あらゆるモノや人に RFID タグが貼付されている
前述したように RFID タグは次世代のバーコードとして注目されており、一部の地域では RFID タグの貼付を義務づける決定もされていることから、近い将来には物品の製造過程で予め貼付されることが予想される。人については直接 RFID タグを貼付するのは困難であるが、人が常に身につけているモノ：下着、洋服、アクセサリ等から人の存在の特定を間接的に行うなどの方法が考えられる。
- あらゆる場所に RFID タグリーダが存在している
技術の進歩により、RFID タグリーダも RFID タグと同様に小型化・低価格化が予想される。したがってビジネス的なメリットが十分あれば、サービスプロバイダ等が RFID タグリーダをあらゆる場所に設置することは十分考えられる。
- RFID タグリーダの検出範囲に存在する RFID タグは必ず検出される

現状では RFID タグの向き等によって RFID タグリーダの検出範囲に存在しても検出されない場合があり、検

出精度が良いとは言えない。しかし今後の技術進歩により検出精度は向上すると考えられるため、本稿では上記環境を想定する。

- モノの検出履歴情報、およびモノに関する属性情報はデータベース上に格納されている

モノの検出履歴情報について、RFID タグリーダが検出した無線タグについて、(RFID タグリーダ ID, RFID タグ ID, 検出時刻) の3つ組データを定期的にシステムへ送信することで取得可能である。モノに関する属性情報の管理については、EPCglobal 等で議論されており、将来的には製造段階でモノに関する情報が登録されていくと考えられる。

2.3. サービスシナリオ

本節では本稿が対象とする典型的なインビジブルサービスのシナリオについて述べる。

山下公園でフリーマーケットが開催されている。田中さんは店を開き、自分の古着を売っている。昼頃に田中さんはおなかのすいたので、食事に行くことにした。天気予報では曇り時々雨であったが、現在は雨が降っていないので、傘をお店に“置いて”昼食に出かけた(図1(a))。システムはこの状況を理解し、現在の状況で提供するサービスがなかったため、何もなかった。

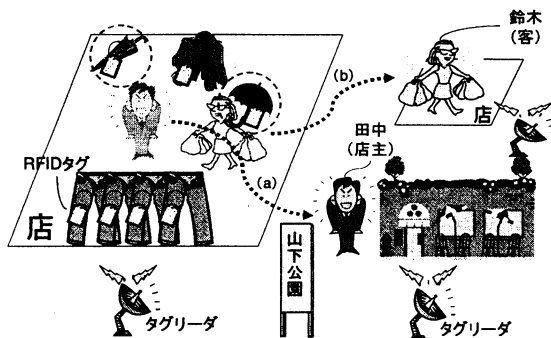


図1 サービスシナリオ

一方鈴木さんはこの日に山下公園でフリーマーケットが開催されると聞いて、買い物にやってきた。鈴木さんは田中さんのお店で売っていたジーンズが気に入ったので、買うことにした。そして鈴木さんは田中さんの店を出て、他の店に向かった。その際に鈴木さんは買ったジーンズにばかり気を取られて自分の傘をお店に“置き忘れて”しまった(図1(b))。システムはこの状況を理解し、鈴木さんに傘を落としたことを通知するサービスを提供した。

2.4. サービスシナリオの分析

前節で述べたサービスシナリオを実現するために、我々は以下の2点に着目する。

- ユーザが携行品を落としたこと
- ユーザが携行品を置いたこと

一方実世界から収集される情報は、リーダによって検出されたRFIDとそのRFIDタグリーダID、検出時刻である。この情報から同時に検出されたRFIDタグを特定することで、ユーザの近くにあるモノを特定することができる。またこれに時間的な変化を考慮することで“ユーザとモノが離れた”という状況を推定することができる[10]。さらに“ユーザとモノが離れた”という状況から推定されるより詳細な状況は、少なくとも4つの状況：“置いた”、“落とした”、“渡した”、“盗まれた”に分類できる。サービスシナリオを実現するためには、“置いた”、“落とした”をそれぞれ他の状況と識別できる必要がある(図2)。

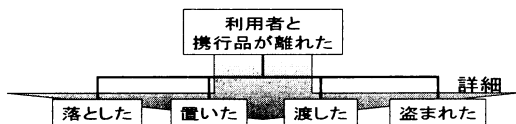


図2 状況の関係

3. 実現手法

本章では前章で示したサービスシナリオを実現するための典型的な手法とその問題点について述べる。

3.1. ユーザと携行品の距離を用いた状況推定

最も基本的な手法は、ユーザと携行品との距離を用いて状況を推定することである。ユーザと携行品に貼付されたRFIDタグがRFIDタグリーダによって同時に検出されているかどうかで、ユーザと携行品が近くに存在するかどうかを特定することができる。

まずユーザの携行品を特定する。これはRFIDタグの検出履歴において、システムが一定の期間、距離、または回数ユーザと同時に検出されたモノを携行品と見なすことで、ユーザの携行品を自動的に特定することができる。

その上でユーザと携行品がリーダで同時に検出されなくなった時、ユーザと携行品が離れたことをシステムが検知する。さらにシステムが上記手法によりユーザの携行品のある時刻から別のユーザの携行品と推定したならば、“渡した”もしくは“盗まれた”と推定することができる。またモノの携行者が変化しなければ“落とした”もしくは“置いた”と推定することができる(図3)。

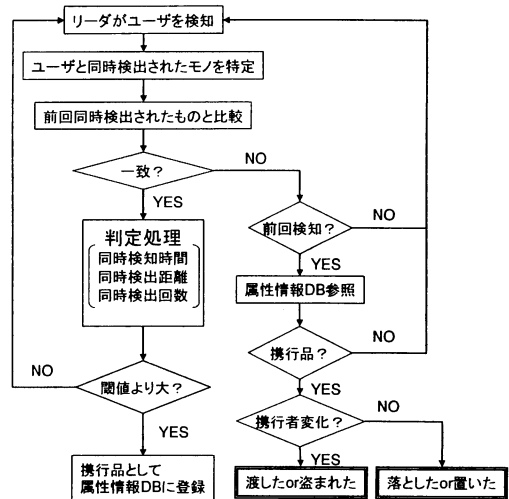


図3 ユーザと携行品の距離を利用した状況推定

3.2. ユーザと携行品の距離を用いた手法の問題点

ユーザと携行品の距離を用いることにより、ユーザとモノの距離関係から携行品を特定することができた。またユーザと携行品の関係から、“渡した”もしくは“盗まれた”状況と“落とした”もしくは“置いた”状況を識別することができる。しかし“落とした”状況と“置いた”状況を識別することができないため、上記のサービスシナリオを実現することができない。つまりユーザとモノの距離関係のみではユーザの状況を正確に判断することはできない。

3.3. 位置に関連づけられた意味を用いた状況推定

前記手法の問題点を解決するために状況が生じた位置に関連づけられた意味に着目する。位置に関連づけられた意味を利用したサービス提供はコンテキストウェアの分野でいくつか提案されている[1][2]。この位置に関連づけられた意味を状況の推定に応用する。例えば“ユーザと携行品が離れた”という状況が生じた際に、その携行品が電車の中にある場合、“ユーザは携行品を落とした”可能性が高い。一方“ユーザと携行品が離れた”という状況が生じた際に、その携行品が自分の部屋にある場合、“ユーザは携行品を置いた”可能性が高い。

位置に関連する意味は地図などの既存の情報源を利用することが可能である。そして位置に関連づけられた意味に応じて、状況を推定するルールを記述することにより、“落とした”状況と“置いた”状況を識別することができる。

このようにユーザとモノの距離関係に加えて、状況

が生じた位置に関連する意味を推定することで、前記手法より正確に状況を推定することができる。

3.4. 位置の意味を用いた手法の問題点

位置の意味を用いた手法の問題点は位置に関連づけられた意味を固定的に扱っていることである。上述したシナリオにおいて、システムは“田中さん及び鈴木さんとそれぞれの携行品が離れた”という状況に関して、これらの状況が生じた位置に関連づけられた意味を“山下公園”と理解してしまう。そのためシステムは“落とした”可能性が高いと推定し、田中さんと鈴木さんに傘を落としたことを通知するサービスを提供してしまう。

この問題の原因は田中さん及び鈴木さんとそれぞれの傘が離れた場所が田中さんの店であるということシステムが理解できていないことにある。この“フリーマーケットの田中さんの店”のように、実世界には位置に関連づけられた意味では表すことができない空間が存在する。そしてシステムがそれを理解することができないために、ユーザの状況を正確に推定することができていない。

4. 場を用いた状況推定

本稿では前記手法の問題点を解決するために、新たに場という概念を導入する。場とは、そこにいる人に対して、ある行動を強く促すような三次元的な空間のことである。例えば“売り場”は人が商品を売買するという行動を促す。コンテクストアウェアとの違いは、実際にそこに人がいるかどうかは重要でない点である。もし人がいるとしたときに、どういった行動を促すかが重要である。本章では場について詳しく述べる。

4.1. 場の特徴

本節では場の特徴について述べる。第1に場は大きく以下の2つに分類することができる。

- **固定場**：位置と場の対応が固定的である場である。固定場は一度構築されると長期間存在する。固定場の例として駅や食堂、道路、公園などが挙げられる。固定場は、位置との対応が固定的であることから、固定場の意味と位置を関連づけることも可能である。
- **変動場**：位置と場の対応が変動的である場である。変動場は一度構築されても短期間で消滅もしくは移動する。変動場の例としてフリーマーケットや屋台などがある。変動場は位置との対応が変動的であることから、変動場の意味と位置を関連づけることが困難である。

ここで同じ意味を持つ場が固定場である場合もあるし、

変動場である場合もある。例えばオフィスで各社員が仕事を行う場所、すなわち仕事場について、従来の会社では固定場であることが多い。しかし最近ではモバイルオフィスなどのように自由に仕事場の位置を変えることができるオフィスも存在しており、このような場合の仕事場は変動場であると言える。

第2に場は重なり・包含・隣接する特徴を持つ。例えば公園と売り場は包含関係にあり、売り場同士は隣接関係にある。また売り場と店員の縄張りは包含関係にあり、店員の縄張り同士は重なりうる(図4)。



図4 場のイメージ図

このような場の意味は、以下の4つで決定されると考えられる。

- **場が存在する位置**：駅や道路といった場は位置との関係が固定であることから、これらは位置によって意味が決定される。
- **場に存在する人工物**：商品が並んでいる空間は“売り場”という意味を持ち、田中さんの所有物が多い空間は“田中さんが占有している空間”、すなわち“田中さんのなわばり”という意味を持つ。これらは場に存在する人工物によって意味が決定される。
- **場に存在する人の行動**：ユーザが公園の芝生の上で仮眠をとっていれば、そこはユーザにとって“睡眠する場”となる。これはその場に存在する人工物ではなく、ユーザ自身の行動によって意味が決定される。
- **場に存在する人工物と人の行動**：ユーザが喫茶店で勉強道具をカバンから出して勉強していれば、そこは“勉強場”という意味を持つが、勉強道具をかばんにしまったまま友人と話しているのであれば、“勉強場”という意味は持たない。これは人工物とユーザの行動の両方によって意味が決定される。

4.2. 場に関する技術課題

場について以下の2つの技術課題がある。

- **場の空間的範囲の決定**：空間を正確に理解するために、場の位置を正確に理解する必要がある。具体的には場を正確に決定するための着目する空間の決定および場の意味決定後の場の空間的範囲の決定である。前者は実世界全体をひとつの着

目空間としてしまうと、ある空間に多く存在する物体集合と全世界に散在する物体集合との区別ができない。多くの場合、上位の場の中で下位の場が決定されることから、上位の基本となる着目空間を決定する必要がある。後者は場の意味を決定した際に、その意味を持つ場に対するサービスを正確に提供するためには、場の空間的範囲を正確に決定する必要がある。

- **場の意味の決定**：空間を正確に理解するために、着目空間内に存在する場の意味を決定する必要がある。変動場は短期間で生成、消滅、移動することから場の意味を位置に対応付けることは困難であり、新たな意味づけの方法が必要となる。

本稿では上述した2つの技術課題のうち、場の意味の決定を解決する。さらに人工物、人の行動、およびその両方によって意味が決定される場があるが、ここでは人工物によって決定される場を対象とする。

4.3. 場の意味の決定

我々は人工物によって決定される場の意味を特定するために、ある着目空間に存在する人工物の属性に着目する。人工物は存在意義や機能、所有者などといった属性を有する。これらの属性は人工物自身を特徴付けるものである。そして人工物が集まって場を形成することから、場の意味は人工物集合を特徴づける属性によって決定されると考えられる。

そこでここでは共通属性度という尺度を導入し、着目空間に存在する人工物集合の共通属性を特定する。そして意味導出ルールを導入し、共通属性と空間の意味との関連づけを定義する。これによりその共通属性を元に場の意味を特定する。以下では、人工物の属性、共通属性度、意味導出ルールについて詳しく述べる。

- **人工物の属性**

人工物が持つ属性は、人工物共通のものと人工物の性質に依存するものとの2つに分けることができる。人工物共通の属性として、名前、所有者、カテゴリなどがある。人工物の性質によって追加される属性の例として、人工物が商品である場合の価格や、人工物が食料品である場合の賞味期限、消費期限などが挙げられる。人工物に関するさまざまな概念やそれらの体系的な理解に関する考察はオントロジー学分野です。すでに多くの研究がなされている[13]。またオントロジーを用いて概念間の関係を明示することにより、人工物の属性に関する表記揺れなどの問題を解決することも可能であり、セマンティックウェブの分野でも活用されている [7]。

- **共通属性度の導入**

着目空間に存在する人工物集合の共通属性を特定

するためひとつの手法として、同じ属性値を持つ人工物の数の割合に着目し、共通属性度という尺度を導入する。共通属性度は以下の式によって定義される[6]。

$$\text{共通属性度} = \frac{\text{同一属性値をもつ人工物の数}}{\text{検知された人工物の数}}$$

これにより物体集合の各属性に対して共通属性度を計算する。そして共通属性度が閾値を超えた属性を共通属性として特定する。

- **意味導出ルールの導入**

意味導出ルールは共通属性度によって特定された人工物集合の共通属性から場の意味を特定する。これはユーザによって予め与えられているものであり、現在は if-then 形式のルールを想定している。

4.4. 場の意味を利用した状況推定

“ユーザと携行品が離れた”という状況が生じた場の意味を推定することにより、状況を正確に推定する。

まず場の意味を推定するために場に存在する物体を特定する。ここでは着目空間は田中さんの店とする。田中さんの店に存在する物体の属性情報を表1に示す。

表 1 人工物の属性情報

ID	名前	カテゴリ	所有者	携行者	役割
8001	A社製傘	傘	鈴木	鈴木	
8002	B社製ケータイ	携帯電話	鈴木	鈴木	
8003	C社製傘	傘	田中	田中	
8004	D社製ケータイ	携帯電話	田中	田中	
8005	E社製ジーンズ	ジーンズ	田中		商品
8006	E社製ジーンズ	ジーンズ	田中		商品
8007	F社製ジーンズ	ジーンズ	田中		商品
8008	F社製ジャケット	ジャケット	田中		商品

次に共通属性度を用いてこれらの物体集合の共通属性を特定する。表2に各属性に対する共通属性度の計算結果を示す。ここで共通属性の閾値を0.5とすると、“所有者=田中”、“役割=商品”が共通属性として特定される。

表 2 共通属性度

属性値	共通属性度
所有者=田中	0.75
役割=商品	0.5
カテゴリ=ジーンズ	0.375
カテゴリ=傘	0.375
所有者=鈴木	0.25
携行者=田中	0.25
携行者=鈴木	0.25
カテゴリ=ジャケット	0.125

ところで2つの意味導出ルールが事前に登録されているとする。

- 共通属性 = {役割=商品} → 商品売り場
- 共通属性 = {所有者=X} → Xのなわばり

1つ目のルールは商品が多く存在する場所は商品売り場であるという推論ルールであり、2つ目のルールは特定の人の所有物がたくさんある場所はその人のなわばりであるという推論ルールである。ここでいうなわばりとは、一人もしくは複数のユーザによって独占的に利用されている空間である。例えば自宅や会社の自分のデスクなどは自分の縄張りである。

これらの意味導出ルールと先ほど特定された共通属性から、システムは“商品売り場”、“田中さんの縄張り”という2つの意味を特定する。これにより、変動場も含めて、状況が生じた場の意味を正確に理解することが可能となる。

その結果“田中さんと携行品である傘が離れた”という状況が田中さんの縄張りの中で生じたということシステムは推定し、それによって“田中さんは携行品である傘を置いた”と推定することができる。また“鈴木さんと携行品である傘が離れた”という状況が自分以外のなわばりで生じたということから“鈴木さんは携行品である傘を落とした”とシステムは推定することができる。

5. 関連研究

ユーザの状況を推定する手法はいくつか提案されている。Mooreら[3]は環境情報を取得するためのセンサとしてカメラを利用し、ユーザが持っているモノからユーザの行動を推定する。カメラによって取得された画像を解析することで、ユーザが“何か”を持っていることは分かるが、そのモノを正確に特定することは困難である。コンテクストアウェアの分野では、位置から推定されるユーザの状況に着目し、位置の取得方法に関する研究を行っている[1][2]。西田ら[11]はモノに超音波センサを貼付することでモノの位置を正確に取得することに成功している。しかしこれらは人とモノとの位置関係のみ、もしくは位置に関連づけられた空間の意味からユーザの行動を理解するアプローチである。我々のアプローチは人とモノの関係およびそれらを取り巻く環境も含めて状況を理解するアプローチを取っている点で異なる。

空間の意味を中心に議論した研究として、松尾らの研究[12]がある。松尾らは空間には複数の意味・機能があると主張しており、これは我々の考えと同じである。ただし我々は場の意味を人工物の属性情報を元に決定している点が異なる。

6. おわりに

本稿では、動的に変化する状況を正確に理解するために、場という概念を導入した。そして場の意味を利用してユーザの状況を正確に推定する手法について提案した。さらに机上で従来の人と人工物の位置関係のみを考慮した場合の状況推定および位置に関連づけられた意味も考慮した場合の状況推定と提案手法を比較し、その優位性を示した。本手法により、従来手法よりインビジブルサービスをより正確に提供することが可能となる。

今後は本稿で提案したシステムの実装を行い、実世界上で評価を行う予定である。また今回は場の意味を特定するために共通属性を利用した。しかしこの方法では単独で場の意味に影響を与える人工物を検出することができない場合がある。今後はこの点についても改良を行う予定である。

文献

- [1] Andy Ward, Alan Jones, Andy Hopper. A New Location Technique for the Active Office. IEEE Personal Communications, Vol. 4, No. 5, pp.42-47, October 1997.
- [2] B. Schilit, N. Adams, R. Gold, M. Tso and R. Want, “ParcTab Mobile Computing System,” Proc. of 4th Workshop on Workstation Operating Systems (WWOS-IV) pp.34-39, Oct. 1993.
- [3] Darnell J. Moore, Irfan A. Essa, and Monson H. Hayes, “Exploiting Human Actions and Object Context for Recognition Tasks,” Proc. of IEEE International Conference on Computer Vision '99 (ICCV'99), Mar 1999.
- [4] EPCGlobal, <http://www.epcglobalinc.org/>
- [5] Mark Weiser, “The Computer for the 21st century,” Scientific American, pp.94-104, Sep. 1991.
- [6] Naoharu Yamada, Kenji Sakamoto, Goro Kunito, Kenichi Yamazaki, “An Automatic Method of Determining Field Characteristics in Ubiquitous Computing Environment,” 電子情報通信学会総合大会 B-7-61, Mar. 2004.
- [7] OWL, <http://www.w3.org/2001/sw/WebOnt/>
- [8] The American Department of Defense, <http://www.defenselink.mil/releases/2003/nr20031023-0568.html>
- [9] Ubiquitous ID Center, <http://www.uidcenter.org/>
- [10] 國頭吾郎, 坂本憲司, 山崎憲一, “環境トリガーに基づくサービス提供プラットフォーム,” IEICE 信学技報, NS2002-277, IN2002-250, pp.103-108, Mar. 2003.
- [11] 西田佳史, 相沢洋志, 堀俊夫, 柿倉正義, “超音波センサを用いた対象物のセンサ化に基づく人の日常活動の認識,” ロボティクス・メカトロニクス講演会'02, 1A1-J07, Jun. 2002.
- [12] 松尾豊, 高木朗, 平塚誠良, 橋田浩一, 中島秀之, “空間の意味表現と空間機能検索,” 人工知能学会第五回セマンティックウェブとオントロジー研究会, SIG-SWO-A303-01, Mar. 2004.
- [13] 溝口理一郎, 池田満, 来村徳信, “オントロジー工学基礎論—意味リンク, クラス, 関係, ロールのオントロジーの意味論—,” 人工知能学会誌 Vol.14-6, pp.1019-1032, Nov. 1999.