

実空間における関連本アウェアネス支援システム

中田 豊久 金井 秀明 國藤 進

北陸先端科学技術大学院大学

あらまし 本稿では、本に関連する情報を Web 空間から探し出し実空間に反映するシステムについて提案する。実空間にある本同士の関係を気づかせることにより、ユーザは実空間上で物から物へ移動しながら、例えば技術調査のような知的作業を効率的に遂行することが可能となる。システムは、「関連本検索」、「学習による関連本検索」、そして「部分ネットワークによるランキング表示」の 3 つの機能を提供する。

Related Book Awareness in Real World

Toyohisa NAKADA, Hideaki KANAI and Susumu KUNIFUJI

Japan Advanced Institute of Science and Technology

Abstract We present a system that searches information about a book selected by user and projects them onto the book on a bookshelf using spotlight and a computer display. The user can perform a mental work well using our system, since they are noticed information such as a relation between two books. The system has three functions: "Searches related book", "Searches related book by learning a relation", and "Displays ranking by partial network analysis".

1 はじめに

アウェアネス支援は、人と人をつなぐものとして CSCW(Computer Supported Cooperative Work)¹ などの研究分野で研究されている。例えば遠隔共同作業において、相手の状況を自然な形で伝達することにより作業の効率を向上させたり、時には現実よりも臨場感のある拡張現実を実現しようと試みてきた。一方、本稿で提案するアウェアネス支援は、人と「物」を結びつけることに焦点を当てたものである。ある物に関連する情報に気づくことが、ユーザの知的作業を向上させると考える。例えば、本棚にある 2 つの本の関係性が Amazon.com² などの情報空間には既に存在していたとしても、それらの現物の本を見るだけではその情報に気づくことは出来ない。本稿で提案するシステムは、その関連情報を、自然な形でユーザに提供することを実現し、ユーザ

の知的作業を向上させようと試みている。

本研究の目的は実空間の活性化であり、そのために情報空間にある情報を利用する。実空間上に存在する物の関連情報を情報空間から探し、映し出す。さらに、実空間上の物同士の関係も情報空間の情報を加工してユーザに提示する。情報空間にある情報をユーザに伝える、という点では、遠隔協同作業支援を目的とした Web によるアウェアネス支援システムも同じである。情報空間に入れた共同作業者のアウェアネス情報をユーザに提供するからである。我々のシステムとの相違点は伝え方の違いにある。遠隔協同作業支援のアウェアネス情報は、計算機を通してユーザに伝えられるが、我々のシステムでは、その情報は実空間に照射される。先に示した「物同士の関係が分かること」と「実空間にアウェアネス情報を照射すること」によって、ユーザは実空間上で色々な物の間を移動しながら知的作業を行うことが可能となる。

本稿で提案するシステムは、光による物探し支

¹ <http://www.acm.org/cscw2004/>

² <http://www.amazon.co.jp/>

援システム [9] の上に構築したシステムである．このシステムは，物の位置情報を常に把握し，たとえその物が隠れた位置にあってもその場所に光を当ててユーザに「ここにもものがあるよ」と知らせてくれるシステムである．以下に本稿の構成を示す．2章では，光による物探し支援システムについて紹介する．3章で関連本ウェアネスを実現するアルゴリズムを，4章ではシステムの実行例を示す．関連研究について5章で議論し，6章でまとめる．

2 光による物探し支援システム

光による物探し支援システム [9] は，隠れた物でも頻りに移動する物でも位置を測定し，視覚情報によってユーザにその位置を知らせるシステムである．この章では，その構成，複数の位置計測器の統合方法，そして光の照射方法について記述する．

2.1 システム構成

図1に本システムのシステム構成を示す．物の場所を特定するための位置計測器として，2種類の機器（Active RFID: RF Code社，超音波位置計測器：古河機械金属社）を併用する．それぞれの機器によって，位置情報の透過性（隠れた状態にある物の位置を把握することが出来る機能）を実現し，測定精度の向上を図る．これらの2つの測定値の統合にはパーティクルフィルタを用いる．これにより，精度の異なる位置情報の統合と隣接情報から位置情報への変換を統一的に処理でき，新たな位置計測機器を容易にシステムへ追加出来る．

探し物の位置への気付きを向上させるため「スポットライト」を探し物のある付近に照射する．そのため，舞台などの照明機器として利用されているムービングライト（マーチン社）を用いる．探し物のある付近に光を照射するために，位置計測器によって得られた物の位置情報からムービングライトの照射方向（パン/チルト）を計算する．その計算方法は，2軸ロボットアームの逆変換として求める．またムービングライトを制御するために，ムービングライトと計算機とのインターフェースには USITT DMX512³ という標準のプロトコルを使用する．

³ <http://www.usitt.org/standards/DMX512.html>

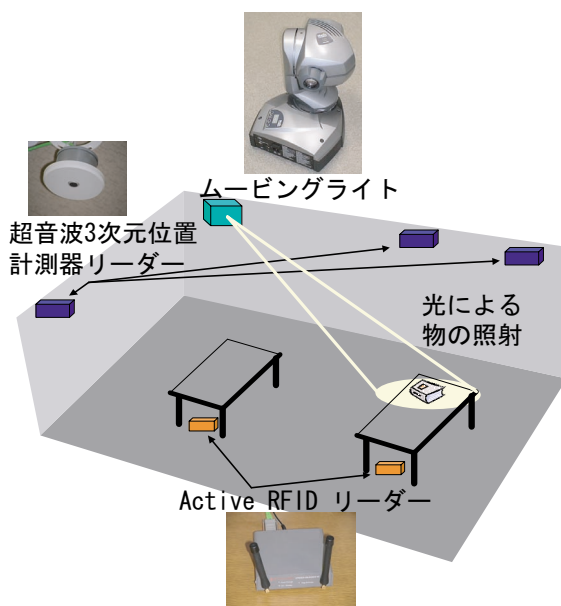


図1: システム構成図

2.2 パーティクルフィルタによる物の位置推定

パーティクルフィルタとは，それぞれが状態と重みを持つ多数の粒子（パーティクル）によって状態空間内全体の確率分布を近似する手法である．Jeffrey Hightowerらは，このパーティクルフィルタを物の位置推定に使用し，そのツールを公開している [4, 7]．本システムでは我々の使用する位置計測器についての部分をそのツールに付加し利用している．パーティクルフィルタの特徴は，例えば位置推定に使用する場合，ある物がそこに存在する確率を膨大な状態空間のすべての箇所では計算せずに，局所的な箇所での計算で全体を近似できることである．計算は次のような手順で行われている．

STEP1 パーティクルをランダムに状態空間内に配置する．

STEP2 位置センサーからの観測データによって各パーティクルの重みを再計算する．

STEP3 すべてのパーティクルによって全体の状態空間の確率密度を計算する．

STEP4 全体の確率密度を表現するパーティクルを再構築する．

STEP5 STEP2 に戻る .

最適なパーティクルの数は, 上記手順 4 の時に Kullback-Leibler distance adaptation [3] を用いてその都度決定される .

本研究で使用した 2 つの位置測定器は, それぞれ平均が 0 で 2 分散を測定誤差とした正規分布として扱う (正規分布の横軸は観測された位置から個々のパーティクルまでの距離) . Active RFID の場合には事前実験から誤差は 20cm と決定した . 超音波位置計測器の場合は, 理論上の誤差値が 2cm から 8cm であるのでその中間として 5cm とした . パーティクルの重みは, 各パーティクルが持っている位置情報と観測位置との距離から確率を求め, それに比例した値として再計算される .

指定位置に本をかざすことがシステムへの入力方法



本に関する付加情報はディスプレイに表示される

本の位置をスポットライトで知らせる



図 2: 関連本アウェアネスのシステム概観

2.3 ムービングライトによる光の照射

物の 3 次元位置情報が分かったら, そこに光が当たるようにムービングライトのパンとチルトを計算する . この計算は, パンとチルトを回転するアームと見ることにより, ロボットアームの手から腕の角度や伸縮を求める逆運動学問題 [13] と等価になる .

位置計測器上の座標系を T_p とし, ムービングライト上の座標系を T_m とすると式 1 が成立する .

$$T_m = A_{rt}A_{rp}A_{rz}A_{ry}A_tT_p \quad (1)$$

座標系 T_p を平行移動 A_t , y 軸周りに回転 A_{ry} , z 軸周りに回転 A_{rz} するとムービングライトのパン, チルトが 0 の初期位置の座標系となる . ここまでの変換行列はシステムのキャリブレーションとして予め作成しておく . その座標系からムービングライトのパン A_{rp} , チルト A_{rt} の変換をした座標系がムービングライト座標系 T_m となる . スポットライトを照射する物の座標 P_m は, T_m 上で x 軸がムービングライトまでの距離, y, z 軸が 0 の点と表現され, T_p 上の座標 P_p と式 2 の関係となる .

$$P_p = A_tA_{ry}A_{rz}A_{rp}A_{rt}P_m \quad (2)$$

パーティクルフィルタから得られた対象物の座標からムービングライトのパンとチルトを求めるには, 式 2 から A_{rp} と A_{rt} を計算すればよい .

3 本棚での関連本アウェアネス

3.1 概要

システムでは関連本アウェアネスとして次の 3 つの機能を提供する . それらの結果はムービングライトによって実空間上に表示され, その詳細情報が本棚の上に置かれたディスプレイに表示される .

関連本検索 ある 1 つの本を入力として, それに関連する本をその付近から見つけ出す .

学習による関連本検索 最初に 2 つの本を順番にシステムに与え, その間の関係を学習させる . 次に, 1 つの本をシステムに与えると, 先に学習した関係に従った関連本をシステムが見つけ出す .

部分ネットワークによるランキング表示 複数の本を指定し, その中での重要度を計算しランキングする .

システムの概観を図 2 に示す . どの本の関連情報が欲しいのかをシステムに教える入力方法としては, 指定箇所の本をかざす, という方法を取っている . 本の裏に Passive 型 RFID を貼り付けておき (図 3), 壁に設置された RFID リーダでそれを読むことで実現している . また, 光による物探し支援システム (2 章) の位置計測用センサーは図 4 のように配置している .



図 3: 本の裏に貼り付けられた Passive 型 RFID タグ

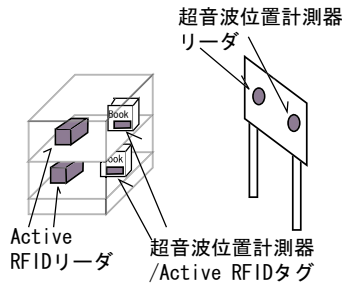


図 4: 位置計測用センサーの配置図

3.2 関連本検索

Amazon.com から提供されている Web Service⁴ を使用して、「この本を買った人はこんな本も買っています」と紹介されている⁵ 5 つの本 (XML のタグは「SimilarProducts」) を関連本データとして取得する。本棚にあるすべての本について 2 つ先まで関連本データを取得し、ノードが「本」でエッジが「本の関係」を表す有向グラフを作成する (この有向グラフは以降のアルゴリズムでも使用する)。

入力データとして 1 つの本をシステムに与えると、それに関連する本を 1 つ出力する。ここでは関連本の事を、予め作られた関係本データの有向グラフ上で最も少ないリンク数で結ばれる 2 つの本である、と定義する。出力は図 5 のようになり、関連本にはスポットライトがあたる。

3.3 学習による関連本検索

学習による関連本検索は、まず 2 冊の本から関係を学習し、その関係に従った関連本を検索する。こ

⁴ <http://www.amazon.com/gp/aws/sdk/>

⁵ 2005 年 2 月現在の情報

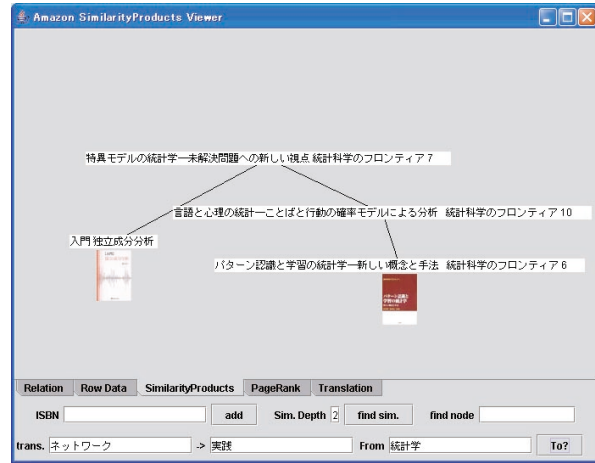


図 5: 関連本検索の結果の出力例

こでの関係は、次のようにして計算する (図 6)。

STEP1 関係本データの有向グラフを表す隣接行列を固有値分解し、最大と第二最大固有値を持つ固有ベクトルで全ての本を平面配置する。

STEP2 2 つの本の位置を示すベクトルの減算で得るベクトルをその 2 冊の関係とする。

STEP3 与えられた本に先のベクトルを足し、仮想的な関連本を作る。

STEP4 仮想的な関連本に最も近い本を推薦する。

出力は、ディスプレイに仮想的な関連本に類似する順番で本が表示される。この表の行をクリックするとその実物にスポットライトがあたる。

3.4 部分ネットワークによるランキング表示

指定された本の中での重要度は、関係本データの有向グラフを表現する隣接行列の最大固有値を持つ固有ベクトルの値の大きさで決定する。この方法は、Google⁶ での検索結果をランキングするアルゴリズム (PageRank [10]) として知られている。PageRank は、「重要なページは、多くの他の重要なページからリンクをされている」という仮説のもと、ページの重要度問題を固有値問題に帰着させ、大規模データで

⁶ <http://www.google.com/>

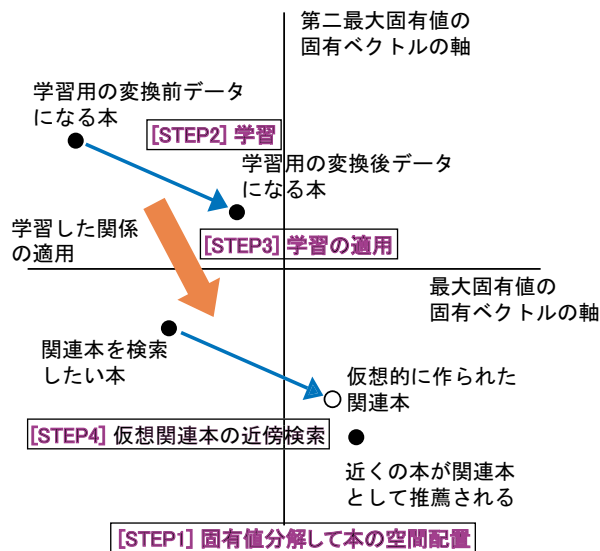


図 6: 学習による関連本検索

ある Web ページのランキングを可能とした．本研究においては，より重要な本は他の重要な本から関連本として指定される，という仮説のもとで PageRank のアルゴリズムを適用している．

指定された本のから 2 リンク先までの関係ネットワークに PageRank を適用することで，特定領域内でのランキングを推定することが出来る．例えば，Amazon.com には売り上げランキングが表示されているのであるが，これはすべての本とすべてのユーザによる指標で，それがそのまま自分にとって重要な本であることを示唆するわけではない．一方，自分で本を指定して PageRank を適用することは，それらの本とその周辺ではどの本が重要であるかが分かり，前者の方法よりは自分に適した重要度を教えてくれると思われる．

システムへの入力は，指定位置にランキングしたい本を 1 つづつかざし，最後にディスプレイ上のランキングボタンをクリックする．結果は図 8 のようにディスプレイ上に現れ，表の行をクリックするとその本にスポットライトがあたる．

Ranking	Value	Image	Description
1	0.0000000...		ビジネスチャンス発見の技術
2	0.0000001...		コミュニケーション力
3	0.0000002...		Social Network Analysis: Methods and Applications (Structural Analysis in the ...
4	0.0000003...		Visual Basic .NET ネットワーク+データベース300の技
5	0.0000004...		自然科学の統計学
6	0.0000004...		情報検索とエージェント

図 7: 学習による関連本件欄の結果の出力例

4 関連本アウェアネス支援システムの実行例と評価

4.1 実行例：ネットワーク分析関連の本を探す

図 9 に関連本アウェアネス支援システムを使用した場合の一例を示す．閲覧のスタートは，「Social Network Analysis: Methods and Applications (Structural Analysis in the Social Sciences, 8)(ISBN0521387078)」からで「実践ネットワーク分析 関係を解く理論と技法 (ISBN4788507811)」を関連本検索で推薦される．学習による関連本検索機能に「自然科学の統計学 (ISBN4130420674)」，「統計学入門 (ISBN4130420658)」と与え「実践ネットワーク分析 関係を解く理論と技法」の入門編にあたる「ネットワーク分析 何が行為を決定するか (ISBN4788505843)」を見つける．最後にすべての本をランキング表示し「ネットワーク分析 何が行為を決定するか」が最も重要であるという結果を得る．

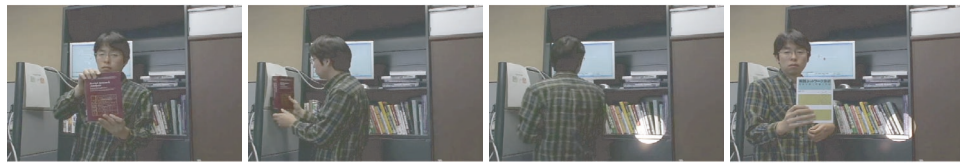
4.2 定性的評価

プロトコル分析 [5] にて関連本アウェアネス支援システムを評価した．分析の中で明らかになったシステムの利点と課題を列挙する．

利点

- 実物の本を使ってシステムを利用できるのが良

本棚の本を1つ抜き出し、関連本検索を行う



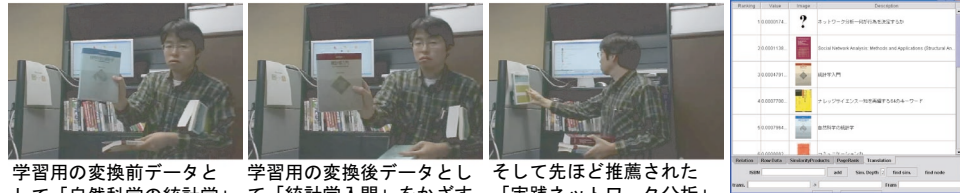
「Social Network Analysis」を手にする

本を指定位置にかざす

関連本にスポットライトがあたる

「実践ネットワーク分析」を推薦される

[応用]->[入門]という関係を期待し学習による関連本検索を行う

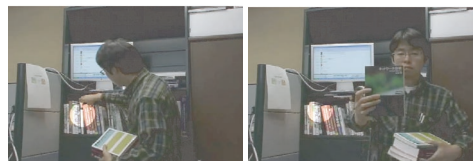


学習用の変換前データとして「自然科学の統計学」をかざす

学習用の変換後データとして「統計学入門」をかざす

そして先ほど推薦された「実践ネットワーク分析」をかざすと、

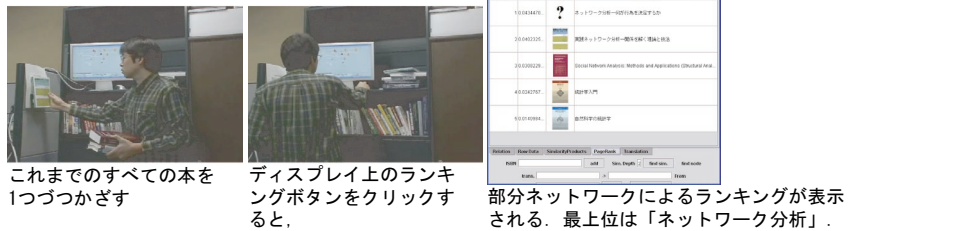
ディスプレイに変換後の仮想本に近い順に本が表示される。



最上位をクリックすると実際の本にスポットライトがあたる

推薦された「ネットワーク分析」を手にする

これまで登場したすべての本のランキングを表示する



これまでのすべての本を1つづつかざす

ディスプレイ上のランキングボタンをクリックすると、

部分ネットワークによるランキングが表示される。最上位は「ネットワーク分析」。

図 9: 関連本アウェアネス支援システムの実行情例

い。

- 関連本検索は、どのような本を經由して関係が結ばれているか分かって面白い。
- 学習による関係本検索は、違った視点の関係本を見つけたいときに便利である。
- ランキングを表示することで、複数の候補の本の中からどれを最初に見るべきかの示唆を得ることが出来る。

課題

- 図書館や書店では、本をかざす場所が多数必要になり現実的ではない。
- 図書館の場合、位置的に近くにある本は類似し

た本が多いので、関連本検索があまり機能しないと思われる。

- スポットライトを人が遮ってしまうことがある。
- ディスプレイを見なくてもスポットライトだけで推薦する本が特定できると良い。
- 学習による関係本検索において、なぜこの本を推薦するのか分からないような推薦が発生する。
- マウスでクリックするのではなく、タッチパネルが良い。

システムへの入力方法は、今後改善が必要である。また、現時点では光を照射するムービングライトを1つだけしか使っていないが、今後は複数連携することが必要である事が分かった。さらに推薦

Ranking	Value	Image	Description
1	0.0636500...		パターン認識と学習の統計学—新しい概念と手法 統計科学のフロンティア 6
2	0.0067319...		OpenGL 3Dグラフィックス入門
3	0.0047690...		Towards the Semantic Web: Ontology-Driven Knowledge Management
4	0.0037191...		Spinning the Semantic Web: Bringing the World Wide Web to Its Full Potential
5	0.0030236...		デジタル画像処理の基礎と応用—基本概念から顔画像認識まで
6	0.0029498...		PLATEX 2ε for Windows Another Manual (Vol.2) Extended Kit

図 8: 部分ネットワークによるランキング表示の結果の出力例

アルゴリズムについても、より洗練する必要がある事が分かった。

5 関連研究

ウェアネス支援による遠隔共同作業支援は、古くは 1992 年に Dourish らにより提案されている [2]。以降、Web 技術の発達により Web を介した遠隔共同作業支援が多く提案されている（例えば [6, 14]）。これらのシステムは、ウェアネス情報の出力としてディスプレイ、入力にマウス/キーボードを使用しているため、ユーザは計算機の前にいる事を強いられる。一方、我々のシステムは、実空間上にウェアネス情報を出力し実物の本を使ってシステムへの入力を行う。ディスプレイは、実空間上に出力された情報の詳細情報を見たいときなどに補助的に使用するのみである。

Butz は、カメラを使用した図書館での本探し支援システムを提案している [1]。部屋の天井に設置された可動式プロジェクターにカメラを搭載し、カメラで捕えた光学式タグの方向にプロジェクターで明かりを照射する。カメラとプロジェクターが一体になっていることにより本の 3 次元情報を必要とせず本を照射できることが特徴である。しかしながらカメラを使用しているので、隠れた位置にある本を見つけることが出来ない。また、光学タグのスキャンには 1 時間ほどの時間が必要であり、例えば自分

で今しがた移動してしまった本に光をあてることは出来ない。一方、我々のシステムでは、透過性のある位置計測器を使用することで見えない位置に本があっても大まかに位置を把握することが出来る。また、常に本の位置を把握し続けているため、今しがた移動してしまった本についてもその位置を探し出すことが可能である。

ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を装着したシステムは、様々なものが提案されている。例えば [12] では、図書館において拡張現実を実現しようと試みるシステムであり、ユーザの要求する本の位置を HMD を通してハイライトしたり、その本の付加情報が与えられたりする。HMD の利用はプロジェクトで情報を照射するのに対して表示場所を選ばないという利点や、より大きな空間でのシステム運用を可能とするという利点を持っているが、HMD 装着に対するユーザの負荷という問題も含んでいる。一方、我々のシステムでは、特別な機器を身に着ける必要はない。

仮想図書館などにおいて関連する図書を推薦する研究は、例えば [8] などがある。本を推薦するための仕組み自体は類似した点があるのであるが、我々のシステムは、現実世界の活性化に焦点をあてているところに、その違いがある。

Pinhanez は可動式プロジェクターを使用した様々なシステムを提案している [11]。その中の 1 つに店舗での顧客に向けたシステムとして、店舗内のテーブル、壁やボードなどに商品情報を表示し、そこからクリックされた商品の場所へプロジェクターから照射された矢印などを用いて導くというシステムが提案されている。ユーザに特別な機器を身につけることなく、自然な形で情報をウェアネスするという目的においては我々と同じであるが、Pinhanez のシステムでは物の位置情報を静的に扱っているところに違いがある。我々のシステムでは物 (本) の位置情報を動的なものとして扱っているため、頻繁に移動する物でもユーザにその位置を気づかせることが可能である。

6 おわりに

本稿では、実空間において存在する現物の本を使った関連本ウェアネス支援システムについて提案し、定性的な評価を行った。現時点ではまだ、情

報空間から実世界の方向へのデータマッピングしか行えていないが、今後は、ユーザのシステムの使用履歴などを利用することにより実世界から情報空間へのフィードバックをも行いたいと考えている。また、定量的な評価によりシステムの有効性も検証していきたい。

謝辞 本研究の一部は文部科学省知的クラスター創成事業石川ハイテク・センシング・クラスターにおける「アウェアホーム実現のためのアウェア技術の開発研究」プロジェクトの一環として行われたものである。

参考文献

- [1] A. Butz, M. Schneider, M. Spassova, "Search-Light - A Lightweight Search Function for Pervasive Environments", In Proc. of Pervasive Computing 2004, pp. 351-356, April 2004
- [2] Paul Dourish, Sara Bly, "Portholes: Supporting Awareness in a Distributed Work Group", CHI'92 Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 541-547, 1992
- [3] Fox, D., "KLD-sampling: Adaptive particle filters", Advanced in Neural Information Processing Systems 14 (NIPS) Cambridge, MA, MIT Press (2002) 712-720, 2002
- [4] Jeffrey Hightower, Barry Brumitt, Gaetano Borriello, "The Location Stack: A Layered Model for Location in Ubiquitous Computing", Proc. of the 4th IEEE Workshop on Mobile Computing Systems & Applications (WMCSA 2002), pp. 22-28, June 2002
- [5] 海保 博之 (編集), 原田 悦子 (編集), "プロトコル分析入門 発話データから何を讀むか", pp.153-169, 新曜社, ISBN4-788-50469-3, 1993
- [6] Lee, A., Schlueter, K. and Girgensohn, A., "NYNEX Portholes: Initial User Reactions and Redesign Implications", In ACM Proceedings of Group'97, November 16-19, ACM Press, 1997
- [7] The Location Stack, <http://portolano.cs.washington.edu/projects/location/>
- [8] Saranya Maneeroj, Hideaki Kanai, Katsuya Hakozaiki, "An Improved Recommendation Method for Better Filtering Information out of Database", 情報処理学会論文誌 データベース, Vol. 43, No. SIG5(TOD14), pp.66-74, 2002
- [9] 中田豊久, 金井秀明, 國藤進, "光による物探し支援システム", 情報処理学会 インタラクシオン 2005 インタラクティブ発表, 2005
- [10] Lawrence Page, Sergey Brin, Rajeev Motwani and Terry Winograd, "The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web", Stanford Digital Library Technologies Project, 1998
- [11] C. Pinhanez, R. Kjeldsen, A. Levas, G. Pingali, M. Podlaseck, N. Sukaviriya, "Applications of steerable projector-camera systems", In Proceedings of the IEEE International Workshop on Projector-Camera Systems at ICCV 2003, October 2003
- [12] G. Reitmayr, D. Schmalstieg, "Location based applications for mobile augmented reality", In Proceedings of the 4th Australasian User Interface Conference, pp.65-73, February 2003
- [13] 吉川恒夫, "ロボット制御基礎論", 2.4 逆運動学問題, コロナ社, ISBN4-339-04130-1, 1988
- [14] Tollmar K., O. Sandor, and A. Schoemer, "Supporting Social Awareness @Work: Design and Experience", In Proc. of the ACM Conference on Computer supported cooperative work (CSCW'96), ACM Press, 1996