

スポットライトによる物探し支援システム

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 隠れていても頻繁に移動する物でも、その物にスポットライトをあてるシステムを構築した。そのアプリケーションとして「部屋の中での紛失物探し」と「本棚での関連本探し」を支援するシステムを提案する。前者のシステムでは、音による物探し支援ツールとの比較実験から視覚情報による物探しの有効性を示す。後者ではシステムを使って本棚の前で技術調査をする実行例を提示する。

A Supporting System for Finding Lost Objects by Spotlight

Toyohisa NAKADA, Hideaki KANAI and Susumu KUNIFUJI

Japan Advanced Institute of Science and Technology

Abstract We developed a system that illuminates an object even though the object is hidden by others or often moved. We propose two systems as its application: finding lost objects in indoor and finding related books in bookshelf. In former system, we indicate advantages of our system against a system using acoustic awareness. In latter system, we present an example of using our system.

1 はじめに

紛失した携帯電話やテレビのリモコンなどを部屋の中を探し回ったり、以前に見た記憶のある本を本棚から探したり、「物探し」という行為はよく行われるものである。一方、物の位置を測定する機器は、近年その性能を向上させてきているが、決定的な機器はまだない。そこで本稿では、複数の位置測定器を併用し、物の位置への気づきを向上させることで探し物を支援するシステムを提案する。

物探しという問題を本稿では、「必要としている物がどこにあるか分からない」と定義する。この問題に我々は、システムが物の位置を常に計測し続け、ユーザから要求があった時に視覚情報（スポットライト）によりその位置を提示する、というアプローチをとる。システムが物探しを支援する場合には、人に機器を付けるか、物に機器を付けるか、によって分類できる。前者の場合は、ユーザの行動履歴から

記憶を想起させ、探し物のある場所を特定するやり方となる。後者の場合は、物の位置が既に分かっているため、必要な時にその場所を提示する、という方法になる。我々は、何も特別な機器を身につける必要がない後者の方法による解決を目的としている。また、探し物の位置を提示する方法には、視覚情報の利用だけでなく、音（聴覚情報）による通知もある。しかし、我々の目的とする視覚情報による通知は、「一目瞭然」というように物の位置を伝えることに対して有効性が高い、と考える。

物探し支援システムは、次の機能要件を充たす必要があると考える。

透過性 箱や鞆の中などの隠れた位置にある物を探し出せる機能

追従性 頻繁に移動する物を探し出せる機能

本稿では、これらの機能を充たしたスポットライトによる物探し支援システムを構築し、そのアプリ

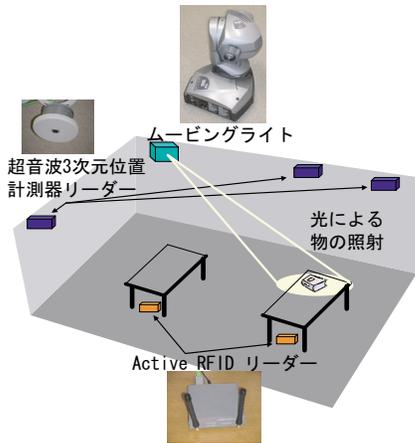


図 1: システム構成図

ケーションとして「部屋の中での紛失物探し (3 章)」と「書棚での関連本探し (4 章)」を提案する。

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 [5] は、隠れた物でも頻りに移動する物でもその位置を測定し、視覚情報によってユーザに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。

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使用されているムービングライト (マーチン社) を用いる。

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。その特徴は、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検索領域のすべての箇所で計算せずに、局所的な箇所のみで計算で全体を近似できることである。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 [2, 4]。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、使用している。パーティクルフィルタを位置推定に利用すると、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することが可能となる。また、システムへ新たな位置計測機器を容易に導入することが出来るようになる。

本研究で使用した超音波位置計測器は、平均が 0 で 2 分散を測定誤差である 5cm とした正規分布として扱っている。Active RFID の場合は、事前実験から決定した誤差 20cm の幅と高さ (確率) 1/20 の一様分布としている。

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 [9] と等価になる。

ムービングライトから見た座標系を T_m とし、その座標系での物の位置を P_m とする。一方、位置計測器から見た座標系を T_p とし、その座標系での物の位置を P_p とすると、物の位置の両者の関係は式 1 となる。

$$P_p = A_t A_{ry} A_{rz} A_{rp} A_{rt} P_m \quad (1)$$

各変換行列の意味は次のようである。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。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。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、機器の設置後のキャリブレーションとして求められた A_t, A_{ry}, A_{rz} と計測値から得られる P_m, P_p から A_{rp} と A_{rt} を求めればよい。

照射される光は、パーティクルフィルタによって計算される確率の分散に比例した大きさで照射する。色（無色）と形（円形）は変化しない。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 DMX512¹ という標準のプロトコルを使用する。

3 部屋の中での紛失物探し

3.1 概要

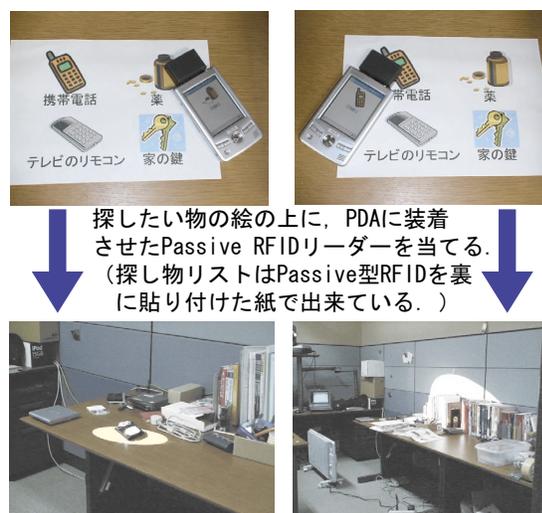
部屋の中で見失った物を探すことを支援するシステムを光による物探し支援システムの1つ目のアプリケーションとして構築した。システムの実行例を図2に示す。Passive型RFIDタグを裏に貼り付けた紙に、タグを貼り付けた物の写真や、その物をイメージする絵を印刷したものを入力インターフェースとして使用している。RFIDリーダを絵の上に置くと、その物の付近をスポットライトが照射する。

3.2 音による紛失物探し支援ツールとの比較実験

表 1: 隠し場所タイプと、その時の光による物探し支援システムの位置測定精度の状態

Type	説明	位置精度状態
Type1	完全に目視できる。	高精度
Type2	一部が目視できる。	高精度
Type3	遮蔽物の下にある。遮蔽物を退かせば探し物を目視できる。	低精度
Type4	鞆や箱の中。探し物を目視するまでにある程度の作業が必要。	低精度

¹ <http://www.usitt.org/standards/DMX512.html>



見える所にある探し物は、隠れた場所にある探し物は、数10cmの誤差でスポットライトがあたる。この写真では、机の上に探し物がある。この写真では、本の間に入り込んでしまっている。

図 2: 紛失物探しシステムの実行例



図 3: 光による探し物支援システム（左）と、音による紛失物探し支援ツール（右）のタグ

物の位置情報の光による気づきは、音によるものに比べて有効であるかを調べるために、コントローラのボタンを押すとタグから音が発生するワイヤレスロケータ（The Sharper Image Inc.）という製品との比較実験を行った。

実験は、机や椅子などがある一般的なオフィス環境の中の約 4m 四方の領域に両システムのタグを隠し、被験者に探してもらいその時間を計測する。探してもらったタグは、図3のようである。タグは、表1で示す4つのタイプの隠し場所に隠しておく。被験者は実験環境に対して予備知識の無い大学院学生10人であり、隠し場所タイプ毎に3回、計12回の測定を両システムで行った。隠し場所毎に分類し

た結果を図 4 に示す．図 4 のエラーバー（棒の先端の工の形をしたもの）は平均値の 95% 信頼区間を示している．結果は，Type2 のみに両側 1% 水準で有意差があると確認された．この結果から光による物探し支援システムの優位性は，手などを使わずに視覚情報だけで探し物が出来る条件で，探し物が分かり難い所にある場合であると確認できた（図 5）．

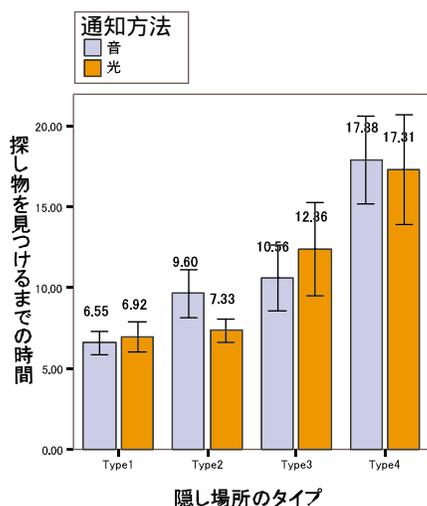


図 4: 隠し場所タイプ毎の物を見つけるまでの時間 (秒)

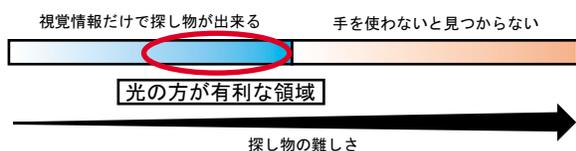


図 5: 音に対しての光による物探し支援システムの優位性

4 本棚での関連本探し

4.1 概要

書店や図書館の前で，例えば何かについて調査をしている時に，いくつもの本を手にとって見る，ということをよく行うものである．この時には，Amazon.com などで提供されている「この本を購入した人は，よくこういう本も購入しています」という情

報が役に立つ．ここでは，このような情報を光による物探し支援システムを使って，計算機を意識せずにユーザに伝える「本棚での関連本探し支援システム」について記述する．

システムは次節以降で説明する「関連本検索」「学習による関連本検索」「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．ユーザは，実物の本を指定位置にかざすことでシステムへ入力情報を与え，スポットライトで実物の本を照らし詳細情報をディスプレイに表示することでシステムからの出力情報を得る．

4.2 関連本検索

Amazon.com から提供されている Web Service² 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³ 5 つの本 (XML のタグは「SimilarProducts」) を関連本元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 つ先まで関連本元データを取得し，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，予め作られた関連本元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．ディスプレイに関連本とそこまでのリンク情報が表示され，実物の関連本にはスポットライトがあたる．

4.3 学習による関連本検索

学習による関連本検索は，2 冊の本から関係を学習し，その関係を使って関連本を検索することである．この学習は次のようにして行われる．

STEP1 関連本元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を使い，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．

² <http://www.amazon.com/gp/aws/sdk/>

³ 2005 年 2 月現在の情報

STEP3 与えられた本にSTEP2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。その中の1冊を選択すると、実物にスポットライトが当たる。

4.4 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、関連本元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、Googleでの検索結果をランキングするアルゴリズム(Pagerank [6])として知られている。

指定された本から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しているわけではない。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、指定位置にランキングしたい本を1つづつがざし、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。ランキングがディスプレイ上に現れ、その中の1冊を選択すると実物にスポットライトが当たる。

4.5 実行例：ネットワーク分析関連の本を探す

図6に本棚での関連本探し支援システムを使用した例を示す。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。

5 関連研究

透過性と追従性を持った「聴覚情報」による物探し支援は、[10]で提案されている。視覚情報を使った物探し支援システムとしては、店舗内での商品探しを可動式プロジェクタを使って支援するシステムがある[7]。しかしこのシステムでは物の位置情報を静的に扱っているため追従性の機能を持っていない。

計算機上に仮想図書館を作り関連する図書などを推薦する研究は、例えば[3]などがある。一方、我々のシステムと同様に実世界志向の支援システムとしては、図書館でヘッドマウントディスプレイを使って現実を拡張するシステムが提案されている[8]。我々のシステムとの相違点は、我々のシステムは何も機器を身に着ける必要が無いことである。図書館で本探しを支援する[1]のシステムは、現実世界の活性化を目的とし何も身に着ける必要がないのであるが、システムが透過性と追従性の機能を持っていない。

6 おわりに

視覚情報を用いた「透過性」「追従性」を持つ光による物探し支援システムを提案し、そのアプリケーションとして「部屋の中での紛失物探し」と「本棚での関連本探し」の2つを構築した。今後は、さらに改良し、評価をしていきたいと考える。

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 Per-

本棚の本を1つ抜き出し、関連本検索を行う



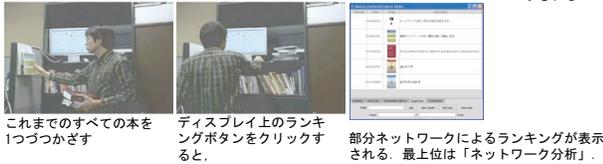
「Social Network Analysis」を手に取る 本を指定位置にかざす 関連本にスポットライトがあたる 「実践ネットワーク分析」を推薦される

[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」をかざすと、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 6: 本棚での関連本探し支援システムの実行例

- vasive Environments”, Pervasive Computing 2004, pp. 351-356, 2004
- [2] Jeffrey Hightower, Barry Brumitt, Gaetano Borriello, ”The Location Stack: A Layered Model for Location in Ubiquitous Computing”, 4th IEEE Workshop on Mobile Computing Systems & Applications (WMCSA 2002), pp. 22-28, 2002
- [3] 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
- [4] The Location Stack, <http://portolano.cs.washington.edu/projects/location/>
- [5] 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
- [6] Lawrence Page, Sergey Brin, Rajeev Motwani and Terry Winograd, ”The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web”, Stanford Digital Library Technologies Project, 1998
- [7] C. Pinhanez, R. Kjeldsen, A. Levas, G. Pingali, M. Podlaseck, N. Sukaviriya, ”Applications of steerable projector-camera systems”, IEEE International Workshop on Projector-Camera Systems at ICCV 2003, 2003
- [8] G. Reitmayr, D. Schmalstieg, ”Location based applications for mobile augmented reality”, 4th Australasian User Interface Conference, pp.65-73, 2003
- [9] 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
- [10] 新西 誠人, 伊賀 聡一郎, 樋口 文人, 安村 通晃, ”Hide and Seek: アクティブに反応する ID タグの提案”, 第7回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS99)