

# 実世界での局所的な位置関係とトポロジーを用いた情報支援に向けて

## Toward Information Support using Local Relationship and Topology in the Real World

中村 嘉志\*<sup>1</sup>      並松 祐子\*<sup>2</sup>      宮崎 伸夫\*<sup>2</sup>      松尾 豊\*<sup>1</sup>      西村 拓一\*<sup>1</sup>  
 Yoshiyuki NAKAMURA      Yuko NAMIMATSU      Nobuo MIYAZAKI      Yutaka MATSUO      Takuichi NISHIMURA

\*<sup>1</sup>産業技術総合研究所情報技術研究部門

Information Technology Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

\*<sup>2</sup>株式会社アルファシステムズ

Alpha Systems, Inc.

This paper proposes a method for estimation of objects' topology based on local position and orientation relationship in the real world. Our topology estimation method produces global relationships and context information of objects for information support to users. We have developed a user's device that can collect local positioning relationships as well as a topology estimation engine. The basic characteristic of our method is evaluated quantitatively with a simulation, which presumes some real world scenes assume plenty of objects in a room like a conferences banquet. In addition to the characteristic, specification for the real devices is clarified with the simulation.

### 1. はじめに

ユビキタスコンピューティング [Wiser 93] やウェアラブルコンピュータなど実世界を指向した情報処理技術においては、ユーザを取り巻く状況を把握し、個々のユーザに適したサービスを提供することが中心的な課題の一つである。ユーザの状況は様々であるが、その中でも、「何処に居るのか」、「誰と居るのか」、「近くに何かがあるのか」の位置に関する情報が特に重要なものとして挙げられる [Schilit 94]。こうした位置情報を活用してサービス生成や環境適応、情報支援などを行うシステムは、位置情報システム [Hightower 01]、もしくは、より広い意味で状況依存情報処理 (Context-aware computing) システムと呼ばれている。

位置情報システムとして有名なものに Active Badge [Want 92] がある。これは、バッジ型の光ビーコン発信装置を装着したユーザを、環境中のセンサで近接性 (proximity) を利用して感知することによって位置検出を行うシステムである。このシステムは、当初はバッジを付けたユーザの近くに内線電話を転送するサービスを実現する目的で開発された。しかし、ユーザが位置情報サーバにアクセスすることで、ある人がどの辺りに居るか、また誰と居るかを知らることができる。

我々も、このような位置情報システムを学会や懇親会場、展示会などのイベント会場に適用し、来場者に対する情報支援を行っている [西村 03]。このような情報支援では、位置情報だけでなく、ユーザがイベント会場の人々や展示物、またはロボットなどの空間中のオブジェクトとどのように関わったかといったインタラクション情報がユーザの状況を推定する上で重要である。

これまで、インタラクション情報を得るために、オブジェクトの絶対位置を高い精度で取得するアプローチが取られている [Harter 99, Priyantha 00]。また、絶対位置推定を行わず、インタラクション情報のみを取得する手法も提案されている [Choudhury 02, Gips 06]。これに対し、我々は、インタラクション情報を直接取得し、かつ、位置に基づく状況推定が可能な程度の精度で絶対位置を推定できる手法 [西村 04, 中村 06]

を提案する。このとき、ウェアラブル端末を用いてインタラクション情報および位置情報を同時に取得して記録する手法 [角 03] も提案されているが、我々は多量のユーザが存在する空間を考え、できるだけシンプルな端末で、かつ、短時間で環境システムを立ち上げられるシステムを目指す。

そこで本稿では、位置と方向の関係からなるオブジェクト間の局所的な位置関係に着目し、そこから全体の位置関係やユーザの状況を推定するトポロジー推定の手法について提案する。ここでは、トポロジー推定の一手法としてバネモデルを用いた手法を提案する。そして、簡単な実験を通じて提案手法の有効性を議論する。

### 2. トポロジー推定

実空間中に、パネルや壁などの静止オブジェクト、そしてユーザやロボットなどの移動オブジェクトがあるとすると、二つのオブジェクトが実際に図 1 のように位置し、それらが局所関係 (局所的な位置および向き) を取得するデバイスを装備しているとすると、システムはオブジェクト 1 がオブジェクト 2 の右側に存在することを知らることができる。反対に、オブジェクト 2 がオブジェクト 1 の左側に存在するということが同様である。このような局所関係はユーザの状況を色濃く示していると言える。向き合っていたり、一緒に行動していたりするという状況である。さらに、静止オブジェクトや移動オブジェクトの個々の局所関係を集めて全体の関係を推定すると、大局的な状況も明らかになる。このような大局関係は、地図のようにビジュアルに表示することにより、ユーザへの位置情報を提供するという支援としても利用することもできる。また、まとまって存在するユーザグループをデータマイニング技術によって解析して性質を得るなど、他の情報支援への応用も可能である。

このように、局所関係から大局関係を推定することを、本稿ではトポロジー推定と呼んでいる。図 2 は、トポロジー推定の入力 (左図) と出力 (右図) の地図応用の概要を示したものである。トポロジー推定は、ここからグループを特定したり、興味のあるオブジェクトを推定したりするなど、より高次元な状況を抽出するまでを含むが、本稿では、どのようにして図のような大局関係を得るのかについて述べる。

A: 中村 嘉志, 産業技術総合研究所, 〒135-0064 東京都江東区青海 2-41-6, nmura@ni.aist.go.jp

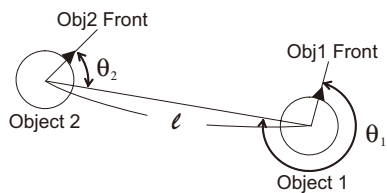


図 1: オブジェクト間の局所位置関係

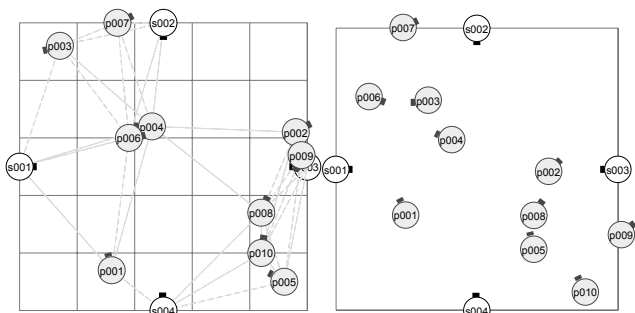


図 2: トポロジー推定: 左図は入力, 右図は出力を示しており, 左図の破線は取得された局所関係を示している. オブジェクトに描かれた矩形はそれぞれの前方方向を示している.

トポロジー推定を実現するにあたり, 我々は, バネモデルを拡張した力学モデルを考案した [並松 06]. 図 3 は, この拡張バネ力学モデルの概略を示したものである. この拡張バネ力学モデルでは, 局所関係をもつオブジェクト同士は近くにあるため, ある自然長およびバネ定数をもったバネで結ばれる. また, 局所関係を持たないオブジェクト間には, ある定数による万有斥力が働く. これは, 実際のセンサでは検出できる距離に上限があるので, 直接関係が検出されなかったオブジェクトは遠くにいるだろうという仮定による.

拡張バネ力学モデルでは, 図 2 左図の破線で示されるオブジェクト間の局所関係 (距離関係および向き関係) をバネに置き換え, 繰返し演算により, 以下に定義する力  $P_l$  および  $P_\theta$  の総和が局所解に落ち着く場合を最も矛盾が少ないと定義してオブジェクトの配置を施す. まず, 各オブジェクトがある場所にいる時にかかる力  $P_l$  を次のように定義する:

$$P_l(o_i) = \sum_{j=1}^N \text{spring}(o_i, o_j) + \sum_{j=1}^N \text{repulsion}(o_i, o_j)$$

ここで,  $\text{spring}(o_i, o_j)$  は, オブジェクト  $o_i$  と  $o_j$  の間に局所位置関係がある場合に, ある係数  $k_s$  で働くバネ力を表す関数であり, オブジェクト間の距離に比例する. 同様に,

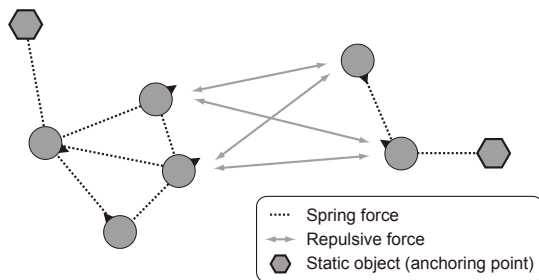


図 3: 拡張バネ力学モデル

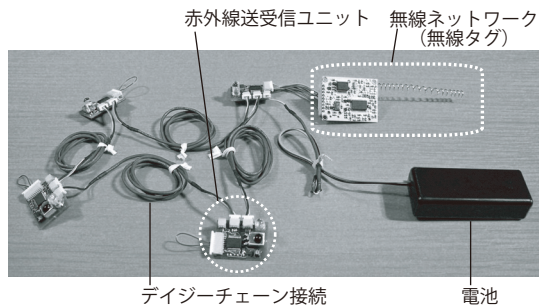


図 4: 試作ユーザデバイスのモジュール構成

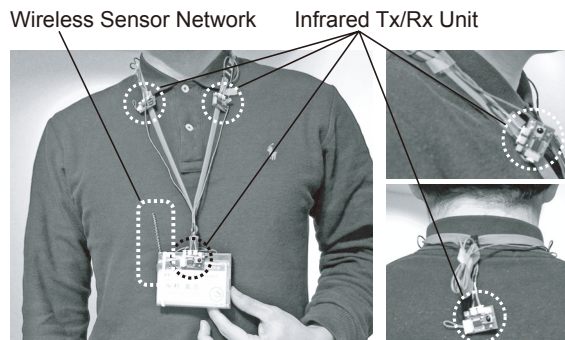


図 5: 名札型ユーザデバイスの実装例

$\text{repulsion}(o_i, o_j)$  は局所位置関係がない場合に, ある係数  $k_r$  で働く斥力を表す関数であり, オブジェクト間の距離の自乗に比例する.  $N$  はオブジェクト数である.

また, 向き方向にもバネの力が働くものとする. この力は局所位置関係が検出された方向からのズレに対して働くものとし, 各オブジェクトの方向のズレに対する力  $P_\theta$  を次のように定義する:

$$P_\theta(o_i) = \sum_{j=1}^N \text{roll}(o_i, o_j)$$

ここで,  $\text{roll}(o_i, o_j)$  は, オブジェクト  $o_i$  と  $o_j$  の間に局所位置関係がある場合に, 検出方向と現在の方向との角度差分に係るバネ力を表す関数であり, ある係数  $k_a$  について角度差分に比例する.

### 3. 局所関係収集システム

実世界中のユーザやディスプレイパネルなどのオブジェクトの局所関係を取得する手法として, 赤外線通信技術を用いたシステムを実装した. 赤外線通信デバイスは, 構造が単純で安定しており比較的容易に入手可能である. こうしたデバイ的な性質は, 一時的に多数のユーザが利用するイベント空間においては極めて重要である.

図 4 は, 局所関係収集デバイスのプロトタイプを示したものである. このデバイスは, Active Badge [Want 92] のような赤外線通信を用いて二つのオブジェクト間の関係を定期的に関欠取得する. これを図 5 に示すように, 名札型のユーザデバイスとして実装することによりユーザの局所関係を取得する. このとき, 方向分解能は赤外線を送受信できるモジュールの数で規定される. 図では前後左右の 4 方向の関係を知らることが

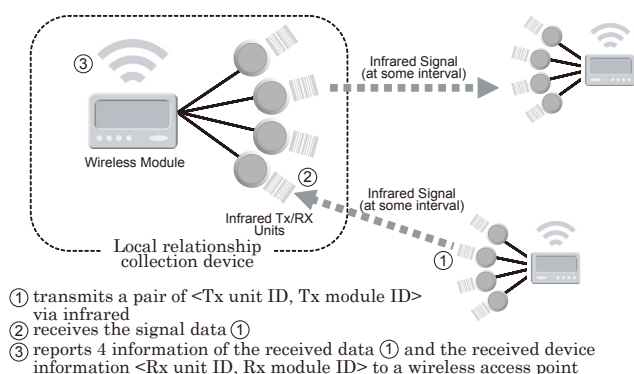


図 6: 局所関係を取得する通信手順

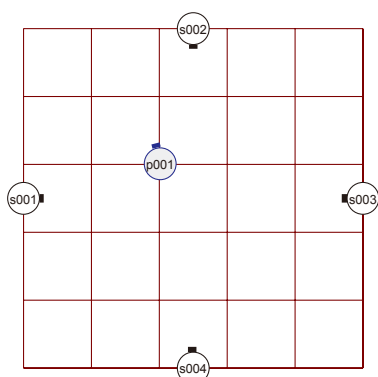


図 7: 静止オブジェクトの配置

できる。オブジェクト間の距離については、ここでは赤外線の有効範囲内であると規定される。

こうして得られた局所関係は、小型の省電力無線タグ [大場 05] によりトポロジー推定を行うサーバシステムに報告され、集積される。サーバでは、これらの局所関係情報を用いてトポロジー推定を実施する。局所関係を取得する通信手順を図 6 に示した。

#### 4. トポロジー推定の評価

トポロジー推定を評価するため、シミュレーションを用いてどれだけ位置情報が再現されるかの実験および評価を行った。実験では、懇親会場を想定して一辺 50m の部屋を仮定した。また、静止オブジェクトを図 7 のように四辺の中央にそれぞれ配置した。このように配置することで X 軸および Y 軸方向の位置誤差が、そのまま各静止オブジェクトとの関係の評価することができる。以下に、配置した静止オブジェクトのオブジェクト名：(X 座標値, Y 座標値, 方向) のリストを示す。

- s001 : ( 0, 25, 0)
- s002 : (25, 50, 270)
- s003 : (50, 25, 180)
- s004 : (25, 0, 90)

なお、座標原点は図中左下であり、オブジェクトの向きは図中右方向を 0 度とし、時計回りに単位を度で記述した。ここで、静止オブジェクトの識別 ID を s001, s002, …と接頭辞 “s” を伴って表記した。移動オブジェクトはこの室内にランダムで設定し、識別 ID を p001, p002, …と “p” を伴って表記することとする。

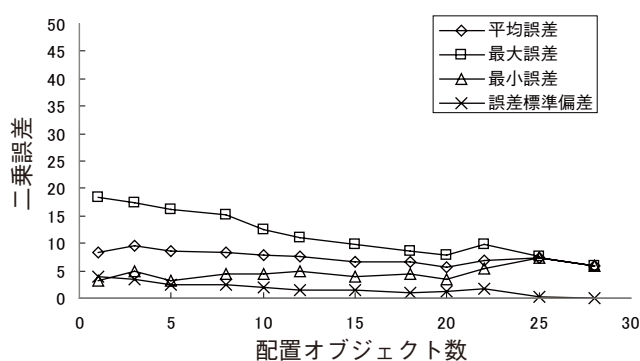


図 8: 位置推定の二乗誤差 (lmax=25)

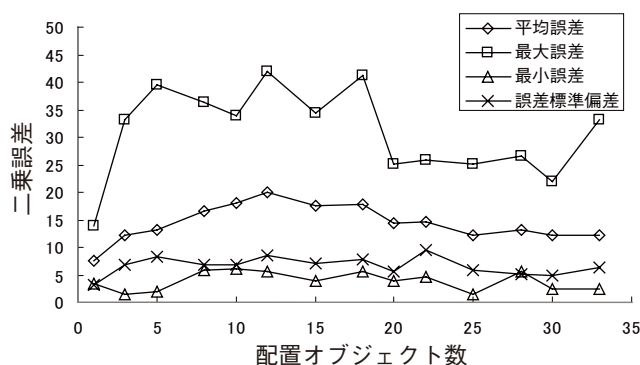


図 9: 位置推定の二乗誤差 (lmax=12.5)

シミュレーションでの方向分解は前後左右の 4 方向とし、センサを (0 度, 90 度, 180 度, 270 度) に設置するものとした。これは、懇親会場にいる人にとって、前方は「興味がある人、もの」、左右は「対等の立場である人、もの」、後方はそのいづれでもないという簡単な意味づけを想定したものである。例えば、ユーザ同士がある距離内で向き合っていればその人たちは知り合いであろうと推定できるし、近くにいっても背中合わせであるならば知り合いではないという状況を推定し、得ることができると考えられる。

実験では、矩形空間の一辺の大きさを 50m に固定し、移動オブジェクト数とセンシング可能距離 (赤外線到達距離) を変化させた上でトポロジー推定の基本特性について評価した。以下、本稿では、次の二つの評価を行うこととする。

1. 推定されたオブジェクトの位置 (出力) が、初期条件 (入力) からどの程度ずれているか、二乗誤差の平均を用いて位置推定特性を示す。
2. センシング可能距離と 1) との関係を明らかにすることによって、ある密度でオブジェクトがあるときの最適な通信可能距離を示す。これは、実機デバイスのチューニングの指標となる。

図 8 および図 9 は、センシング可能距離 lmax がそれぞれ 25 と 12.5 の時の位置推定の二乗誤差の変化を示したグラフである (lmax の単位は m)。二つの図について平均誤差を比較すると、センシング可能距離が lmax=25 としたほうが精度良く推定されたことが分かる。lmax=25 の例では、センシング可能距離が矩形領域の半分であるため、ほぼ全てのオブジェクトは四辺の中央に配置した静止オブジェクト (位置が既知) のどれかと局所関係を持つことができる。一方、lmax=12.5 の

場合は、静止オブジェクトと局所関係を持つ可能性が低いいため、誤差が大きい、すなわち位置推定精度が悪くなる。しかし、 $l_{max}=12.5$ でも、オブジェクト数が多くなるにつれ、直接または間接的に静止オブジェクトとの局所関係を築くことができ、誤差が小さくなることが分かる。

実験結果をまとめると、オブジェクトが1つないしは2つの静止オブジェクトと直接局所関係が持てるとよい精度が得られた。一方で、静止オブジェクトと直接局所関係が持てなくとも、他のオブジェクトを経由して間接的に静止オブジェクトに繋がることにより、位置推定精度が高くなることが認められた。このことは、関係性を考慮するトポロジー推定の利点であると言えよう。また、実験結果より、理想的な環境デバイスは周辺にオブジェクトが少ない場合は通信距離を増加させ、ある程度見つかった時点でオブジェクトの情報をサーバに送信するような設計の必要性もあると考えられることが分かった。

## 5. おわりに

本稿では、実世界中での情報支援へと繋げられるオブジェクトの状況取得を目指し、局所関係から全体の関係を推定するトポロジー推定について述べた。本稿で述べたトポロジー推定は、バネモデルを拡張した力学モデルを用いることにより大局的な位置推定を行う。本稿では、シミュレータと簡単な実験を通してこのトポロジー推定の特性を評価した。評価の結果、基準点となる静止オブジェクトと1つないしは2つの局所関係を直接結ぶとよい推定結果が得られることが分かった。また、直接結ぶだけでなく、間接的に結ぶ場合でも良い精度が期待できる。

今後は、位置精度、向きの精度が力学モデルの各種パラメータによってどのように変化するかについて考察する予定である。また、データマイニング等によって、大局関係からグループの導出などのより高次な状況推定を行う予定である。例えば、得られた局所関係の時系列の動きと、Web上の情報から人間関係ネットワークを抽出する技術[松尾 05]を関連付けることによって、コミュニティ分析を行うことが考えられる。

## 参考文献

- [Choudhury 02] Choudhury, T. and Pentland, A.: The Sociometer: A wearable Device for Understanding Human Networks, *MIT Media Lab TR #554* (2002).
- [Gips 06] Gips, J. and Pentland, A.: Mapping Human Networks, In Proc. of PerCom2006, pp.159–168 (2006).
- [Harter 99] Harter, A., Hopper, A., Steggles, P., Wardand, A., and Webster, P.: The Anatomy of a Context-Aware Application, *In proc. MobiCom '99*, pp.59–68 (1999).
- [Hightower 01] Hightower, J. and Borriello, G.: Location Systems for Ubiquitous Computing, *IEEE Computer*, Vol.34, No.8, pp.57–66 (2001).
- [松尾 05] 松尾豊, 友部博教, 橋田浩一, 中島秀之, 石塚満: Web上の情報からの人間関係ネットワークの抽出, *人工知能学会誌*, Vol.20, No.1E, pp.46–56 (2005).
- [中村 06] 中村嘉志, 並松祐子, 宮崎伸夫, 松尾豊, 西村拓一: オブジェクトの局所的な位置関係を利用したトポロジー推定システムの開発, 第47回冬のプログラミング・シンポジウム報告集, pp.1–8 (2006).
- [並松 06] 並松祐子, 宮崎伸夫, 松尾豊, 中村嘉志, 西村拓一: 局所位置関係を用いたトポロジー推定法の提案とシミュレーションによる特性評価, *情報処理学会研究報告* (2006-HI-117), pp.59–66 (2006).
- [西村 03] 西村拓一, 橋田浩一, 中島秀之: イベント空間情報支援プロジェクト, 第17回人工知能学会全国大会 (JSAI2003), 3E1-01 (2003).
- [西村 04] 西村拓一, 中村嘉志, 松尾豊, 坂本和彌, 宮崎伸夫: 赤外光タグを用いた多数オブジェクトのトポロジー推定, *計測自動制御学会 SI2004 講演論文集*, pp.204–205 (2004).
- [大場 05] 大場光太郎: 超小型ネットワーク・ノードの開発, *産総研 TODAY* (広報誌), Vol.5, No.4, pp.20–21 (2005).
- [Priyantha 00] Priyantha, N. B., Chakraborty, A. and Balakrishnan, H.: The Cricket Location-Support System, *In proc. MobiCom '00*, pp.32–43 (2000).
- [Schilit 94] Schilit, B., Adams, N. and Want, R.: Context-Aware Computing Applications, *IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp.85–90 (1994).
- [角 03] 角康之, 伊藤禎宣, 松口哲也, シドニー フェルス, 間瀬健二: 協調的なインタラクションの記録と解釈, *情報処理学会論文誌*, Vol.44, No.11, pp.2628–2637 (2003).
- [Want 92] Want, R., Hopper, A., Falcão, V. and Gibbons, J.: The Active Badge Location System, *ACM Trans. on Info. Sys.*, Vol.10, No.1, pp.91–102 (1992).
- [Weiser 93] Weiser, M.: Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing, *CACM*, Vol.36, No.7, pp.75–84 (1993).