

利用者コンテキストを考慮した歩行者ナビゲーション方式の提案 と利用可能性の検討

川端 将之[†] 日裏 博之[‡] 上田 真由美[¶] 上島 紳一[†]

[†] 関西大学総合情報学部 〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1

[‡] 日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社 〒140-0002 東京都品川区東品川 4-12-7

[¶] 名古屋大学情報連携基盤センター 〒464-8601 名古屋市千種区不老町 1

E-mail: [†] {fa10146, ueshima}@edu.kutc.kansai-u.ac.jp, [‡] h-hiura@hitachisoft.jp, [¶] ueda@itc.nagoya-u.ac.jp

あらまし 移動体情報端末による歩行者ナビゲーションシステムが注目されている。既存の歩行者ナビゲーションサービスの多くは、コンテンツの豊富さや見せ方を重視し、一様の経路を提供している。しかし、実際の利用場面では状況に応じた経路が求められることが多い。我々は、状況や目的を考慮した移動経路を提供する次世代の歩行者ナビゲーションシステムを提案してきた。提案手法は、利用者が移動する地理的な平面に対して2次元の論理空間を構築し、その論理空間内で利用者コンテキストを表現しながら、利用者の移動を決定するアプローチをとっている。経路の決定においては、論理空間をメッシュ化して利用者のコンテキスト情報を付与し、Dijkstraの最短経路アルゴリズムを適用することで、利用者のコンテキストに適応した柔軟な経路提供を実現している。本稿では、提案しているアルゴリズムの有効性と信頼性を実験によって示す。更に、複数の利用シナリオを用いたシミュレーションを行い、ユビキタス社会における歩行者ナビゲーションシステムの利用可能性について検討する。

キーワード GIS, ネットワーク応用, モバイルコンピューティング, ITS

Proposal of the Context-adaptable Pedestrian Navigation System and its Possible Applications

Masayuki Kawabata[†] Hiroyuki Hiura[‡] Mayumi Ueda[¶] Shinichi Ueshima[†]

[†] Faculty of Informatics, Kansai University 2-1-1 Reizenji, Takatsuki-shi, Osaka, 569-1095 Japan

[‡] Hitachi Software Engineering Co.,Ltd 4-12-7 Higashi-Shinagawa, Shinagawa-ku, Tokyo, 140-0002 Japan

[¶] Information Technology Center, Nagoya University 1 Furo-cho, Chigusa-ku, Nagoya-shi, Nagoya, 464-8601 Japan

E-mail: [†] {fa10146, ueshima}@edu.kutc.kansai-u.ac.jp, [‡] h-hiura@hitachisoft.jp, [¶] ueda@itc.nagoya-u.ac.jp

Abstract Pedestrian Navigation System (PNS) on mobile terminals has gaining focuses among geographical navigation systems. Most of current PNS's are designed to navigate pedestrians, enhancing visibility of maps and/or visualization effects using the shortest route to their destinations. In reality, pedestrians wish to receive not only the guidance for the shortest route, but also the capability of choosing the route to adapt to their context or situations. In this paper, we present a context-adaptable PNS, which provides users to choose their preferable routes from context, that is, the conditions of both each user and geographical space where pedestrians move. In our approach, we define a logical space over a geographical space, on which we define architectural and situational metadata to express various contexts. Further, we employ graph-based approximation of the logical space to reduce computational complexity, and put weighting patterns on the graph edges to express various contexts numerically. Then we apply Dijkstra algorithm to obtain context-dependent route to the destination. Finally, the usability of this system is experimented using multiple scenarios in ubiquitous environments with several numerical simulations, and its possible applications are discussed.

Keyword GIS, Application of Network, Mobile Computing, ITS

1. はじめに

今日のモバイル通信環境の整備が進み、高性能な携帯電話や PDA などの移動情報端末を利用した歩行者ナビゲーションシステム (Pedestrian Navigation System, 以下 PNS と記述) が注目されている [1]。PNS は様々な利用法が期待できるため需要が高く、既に、携帯電話を利用した EZ ナビウォーク [2] や M-stage [3] などの実用化され、PDA を用いたサービスも実用段階に来ている。

更にきめ細かなサービスの実現を目指して、案内地図の表示方式や経路探索に着目した PNS に関する研究が盛んに行われている。文献 [4] では携帯端末の表示性能の制限を考慮し、地図情報のセマンティック情報やジオメトリック情報を利用して携帯端末向けに案内地図を作成する研究について述べている。また、人の空間認知の観点から目標物に対する移動方向の記述や空間語表現を行う場所案内文を作成する研究 [5] や、歩行者の視点に立った指示案内文と風景画像を表示する研究なども行われている [6]。一方、経路探索に着目した研究として、遺伝的アルゴリズムを利用して動的な情報検索を短時間で可能とする最短経路探索に関する研究 [7][8] や、道路網を階層化表現し人間の直感にあった最短経路を効率よく求める研究 [9] などが行われている。

実際の PNS の利用場面を想定した場合、歩行者は車や電車での移動と異なり、状況の変化に敏感に反応すると考えられる。例えば、晴雨によって利用者に異なる経路を提供したり、高齢者に対しては単に最短経路を用いず、なるべく階段の少ない経路を提供できることが望ましい。今後はこのようなパーソナルで、きめの細かいナビゲーションを提供するシステムが期待される。上記の先行研究では、提供経路は一様なものが多く、このような利用者自身の状況や天候などの周囲の状況を考慮したナビゲーションという角度には焦点を当てていない。

このような柔軟な PNS の実現を目指して、我々は利用者コンテキストに適應して移動経路を決定する PNS に関するシステムの研究開発を行っている [10]。提案手法では、利用者が移動する地理的な平面に対して 2 次元の論理空間を構築し、その論理空間内で利用者コンテキストを表現しながら、利用者の移動を決定するアプローチをとっている。

ここでは、先行研究で用いられているような地図データを直接用いるのではなく、利用者自身がすぐ身の回りの状況にある程度判断できることを前提として、2 次元平面をメッシュ状に分割してグラフで表現し、同様に論理空間もグラフで表現している。これにより 2 次元平面の経路探索問題をグラフ上の経路探索問題に

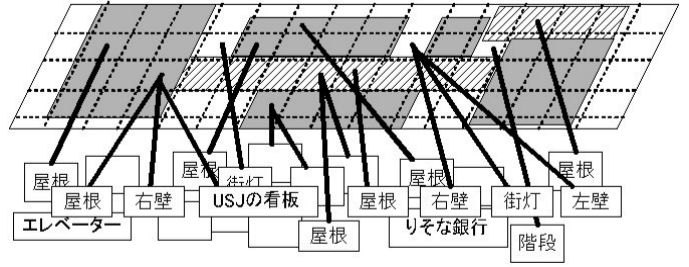


図 1 論理空間における各地点の属性の例

置き換えながら、平面の部分矩形領域毎にコンテキストを定義できるような構成をとっている。このように利用者の移動空間をグラフ表現することで、経路探索のための計算量を減らすことができる。平面の部分毎に種々の探索経路を求めることができる。グラフを連結することで経路探索空間を拡張しやすい、などの利点がある。利用者コンテキストは、利用者に対して想定される状況をカテゴリー毎に定義して、論理空間を表すグラフのエッジに得点付けを行うことによって表現している。利用者は、出発点 (現在地) と目的地の間を指定することで、コンテキストに応じて経路を提供される。

本稿では、複数の利用シナリオに応じたシミュレーションにより、提案手法の有効性を示し、今後の利用可能性について検討する。提案手法は、市街地での移動だけでなく、室内型イベント会場でのブース間の移動経路の提供や、愛知万博など屋外型イベント会場での移動経路の提供や、また、PNS 以外にもロボット制御などの 2 次元的に広がる平面でのナビゲーションに利用できるものと期待できる。

以下、2 章では論理空間の特徴と構成方法について述べ、3 章で利用者コンテキストを考慮した経路探索について述べる。更に 4 章で空間属性に与えるコスト (得点) について考察し、5 章ではプロトタイプシステムを用いたシミュレーションと、ユビキタス社会における提案手法の利用可能性について検討する。最後にまとめと今後の課題について述べる。

2. 状況適応型 PNS アルゴリズム

理想的な歩行者ナビゲーションは単純に最短経路を提供するだけでなく、個人の状態と周囲の状態に応じて、個人毎に異なる経路を提供することが求められる。本章ではこのようなナビゲーションを実現するための、論理空間の特徴と構成方法、状況適応型 PNS の実現手法について述べる。

2.1. 論理空間の構成方法

通常のナビゲーションシステムでは地図データが用いられている。自治体などが提供する地図をベクトル化し、道路や建築物を抽出したデータを用いてナビ

表 1 空間属性の種類

種類	主なオブジェクト
移動制限物	建物, 交差点, 階段, エスカレーター, etc
状況依存物	屋根, 街灯, 路面, etc
標示物	店名, 看板, 広告物, etc

ゲーシオンに関する処理を行うことが多い。しかし、ベクトル化されたデータを用いた場合、道路のつながりを把握することは可能であるが、屋根や街灯、段差といった空間に関する情報を把握することは困難である。そのため、本研究の目的となる歩行者の状況や目的に応じた経路提供を行うことは不可能である。そこで、本研究では歩行者が移動する地理的な平面(以下、地理平面と記述)をメッシュ状に区切り、格子点に囲まれた部分矩形領域に対して空間の特徴を格納した論理空間を構築し、ナビゲーションに用いる。

また、地理平面には、様々な情報が存在する(図 1)。グレー部分は建物を表し、斜線部分はアーケードを表している。例えば、アーケードや建物はその空間の持つ特徴である空間属性の 1 つとして屋根属性を持つ。このように定義することにより、雨天の場合は屋根属性を持つ格子点に囲まれた部分矩形領域を優先することで、雨に濡れない経路を提供することが可能となる。表 1 に本システムで取り扱う空間属性の例を示す。本システムでは、位置情報を元に各部分矩形領域を同列の枝、空間属性を葉として木構造で表現する。本研究で用いる論理空間は、地理平面 1 つを階層とする多層レイヤー構造で構成する(図 2)。すなわち、歩行者が移動する地理的な平面では道路と歩道橋、建物の 1 階・2 階・地下など高さの概念から階層化されているように、本論理空間でも、地面の高さを基準とし、建物の 2 階や歩道橋を“上位レイヤー”、地下を“下位レイヤー”として階層化する。更に、各レイヤーは表 1 に示した移動制限物と状況依存物といった各空間の物理的な情報を格納する“空間オブジェクト構成レイヤー”、表示物など各空間の視覚的特徴を格納する“空間特徴情報レイヤー”を持つ。

本システムでは、移動経路の探索に空間オブジェクト構成レイヤーを用い、目的地までの経路案内は空間特徴情報レイヤーの情報を用いて行う。

2.2. 論理空間へのメタデータの格納方法

本研究では、論理空間の記述精度とデータ量がトレードオフの関係であることを考慮し、歩行者が余裕を持って歩くことのできる道幅(およそ 1m)を格子点で囲まれた部分矩形領域の 1 辺の長さとしメッシュを形成している。各部分矩形領域は“location”タグの“id”属性によって管理される。“id”属性はそのメッシュの中心点の緯度・経度情報とする。例えば、東経 192 度

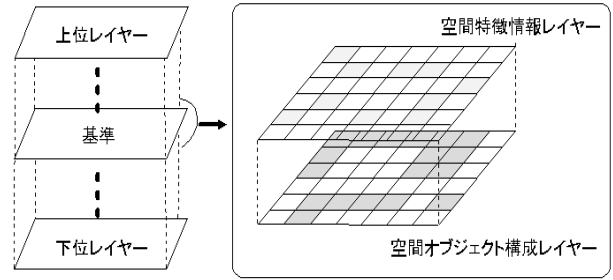


図 2 地理平面を高さの概念から階層化する例

5分・北緯 34 度 6 分の地点 A の場合<location id="192.5, 34.6"></location>となり、この空間が持つ属性は“location”タグの子要素として記述する。更に、移動制限物情報を“top_wall”, “bottom_wall”, “right_wall”, “left_wall”, タグで記述し、状況依存物情報を“ceiling”, “light”, “crowd”, “steep”, “narrow”, “crime” タグで記述する。建物のように複数の部分矩形領域で構成されるオブジェクトが存在する。このようなオブジェクトは“building”タグを用いて記述し、該当領域の“location”タグの親要素となり、“building”タグは“id”属性と“path”属性を持ち、通り抜け可能なオブジェクトの場合“path”属性は“yes”の値をとる。

3. 利用者コンテキストを考慮した経路探索法

本章では歩行者の状況に適応した経路探索手法について述べる。

3.1. グラフへの近似

本システムでは、経路探索のために歩行者が移動可能な地理的な平面を考える。そして、一定間隔のメッシュに区切り、部分矩形領域に分割し、部分矩形領域間の接続によるグラフで表し、モデルを単純化する。そのため、ここでは、格子点に囲まれた部分矩形領域をノード、領域間をエッジとするグラフ構造に近似する。近似モデルでは、エッジが移動単位となる。また、この近似の手法によりエッジの長さは一定値となる。このグラフに対して Dijkstra の最短経路アルゴリズムを適用すると、経路集合が解となる。本研究では、PNS において必要となる経路は、現実空間での最短経路に最も近い経路と考え、出発地 (s_i, s_j) 目的地

(g_i, g_j) の時、ただし最短経路の長さ L は、元のモデルでは直線距離が最短であることを考慮して、(1) になる。

$$L = |g_i - s_i| + |g_j - s_j| \quad (1)$$

3.2. 最短経路探索手法

3.1 節で述べたように、本システムではエッジの長

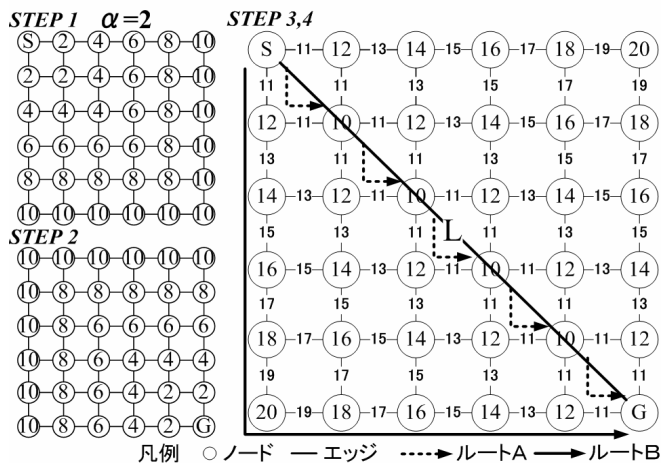


図3 コストの伝播モデルの例

さは一定であるので、Dijkstra の最短経路アルゴリズムを適応しても、一意に決定しにくい経路集合が導出される。そこで、本研究では、出発地の位置と目的地の位置の相対的な距離関係を利用し、3.1 節の式(1)に近いエッジのコストを最も低くし、遠ざかる距離に応じて高くなるように全エッジにコストを与える。出発地点の位置(S)を始点ノードと呼び、ノードのコストを $C_S(N)=0$ とする。そして、始点ノードを基準とし波が広がるようにノードにコストを与える(図 3STEP1)。ノード $N(n_i, n_j)$ において、与えられたコストは(2)で表される。同様にして、目的地の位置(G)を終点ノードと呼び、ノードのコストを始点ノードからのコストとは別に管理するため $C_G(N)=0$ とする(図 3STEP2)。終点ノードを基準にしたコストの波の計算式はノード $N(n_i, n_j)$ において、(3)である。次に両点から起こしたコストの波をノード毎に加算する(4)。以上の処理を行った結果、最小コスト群が(S)と(G)を結ぶ直線(L)付近に現れ、直線(L)から離れるにつれて、コストが増加しているのがわかる(図 3STEP3)。これは、三角形の二辺の和は他の一辺よりも長いという三角形の公理に沿ったコストの算出法であり、最短経路からどの程度離れているかを示す指標となる。最後に、ノード間の平均コストを(5)で算出し、各エッジに与える(図 3STEP4)。そして、Dijkstra の最短経路アルゴリズムを適用し、最短経路を導出する。

$$C_S(N) = \max(|n_i - s_i|, |n_j - s_j|) \times a \quad (2)$$

$$C_G(N) = \max(|n_i - g_i|, |n_j - g_j|) \times a \quad (3)$$

$$C(N) = C_S(N) + C_G(N) \quad (4)$$

$$E(N_1, N_2) = (C(N_1) + C(N_2)) / 2 \quad (5)$$

[例]図 3 右では、(S)と(G)を結ぶ経路のコストはルート A では $C(S,G)=100$ 、ルート B では $C(S,G)=150$ となり、最短経路はルート A となる。

3.3. 空間属性を考慮した経路探索

3.2 節で述べた方法による経路探索は、歩行者の状況や目的を考慮せず常に最短となる経路を提供する。そこで本節では、本研究の特徴である歩行者の状況や目的に応じて移動経路を変更する手法について述べる。

歩行者の状況や目的に応じて移動経路を変更するには、(6)のように、3.2 節の方法でノードに与えたコスト $C(N)$ に、表 1 に示した属性に依るコスト $D(N)$ をノードに加法処理することで実現する(ここでは、 p はパラメータである)。つまり、状況に応じて必要な空間属性が存在するノードに負のコスト又は正のコスト $D(N)$ をかける。これは Dijkstra の最短経路アルゴリズムでは総コストが一番低く(又は高く)なる経路を解とする特徴を持つためである。

$$C'(N) = pC(N) + (1-p)D(N) \quad (0 \leq p \leq 1) \quad (6)$$

歩行者の状況や環境特徴に応じて、空間属性にコストをつけることで、

- 遠回りでも雨に濡れない経路を探したい
- 雨には濡れたくないが、遠回りするくらいなら多少濡れても近い道を探したい
- 暗い夜道より街灯のある明るい道を探したい
- 足が痛いので平坦な道を探したい
- ベビーカーを利用しているので、平坦で人ごみの少ないルートを利用したい。

といった様々な条件に応じた経路の提供が可能になる。

4. 得点付け方法の検討

本手法では、3.2 節後半で述べた環境や状況に関する属性に対して、重み付けを行い他のノードとの差別化を行っている。そこで、本章では空間属性への得点の与え方が探索される経路へ与える影響を調べる。

4.1. 空間属性の得点と の関係

3.2 節で述べた式(2)、(3)の と空間属性に対する重み付け $D(N)$ との関係性を調べる。本実験はメッシュ化した論理空間に 1 種類の空間属性を置き、経路が変更する瞬間を捉えることで と $D(N)$ の関係を導いている。まず、始点と終点を結ぶ直線上に空間属性を 1 つ配置する。この状態で、 と $D(N)$ の数値を変化させる。

表 2 が、空間属性が 1 つの時 に対して $D(N)$ が経路に影響を与える数値を記録したものである。表 2 が示す結果から空間属性 $D(N) \geq 2 \times$ の時、経路に変化が現れる。以上のことから、 と最適経路導出に有効

表 2 波高 と空間属性コスト D の関係

	D	D/		D	D/
1.0	2.0	2.0	9.0	18.0	2.0
2.0	4.0	2.0	10.0	20.0	2.0
3.0	6.0	2.0	11.0	22.0	2.0
4.0	8.0	2.0	12.0	24.0	2.0
5.0	10.0	2.0	13.0	26.0	2.0
6.0	12.0	2.0	14.0	28.0	2.0
7.0	14.0	2.0	15.0	30.0	2.0
8.0	16.0	2.0			

な値 $D(N)$ との関係は $D(N) \geq 2 \times$ であることが実験的にわかる。

4.2. 空間属性間の大小関係が経路に与える影響

空間属性に非常に大きな得点をつければ、全ての空間属性を完全に避けた経路を導出できることは感覚的にわかる。しかし、静的な得点付けでは利用者の状況に対して柔軟に適應することが難しい。また、利用者によって空間属性への評価は異なることが考えられる。例えば、Aさんは「雨に濡れるくらいなら階段を通っても良い」一方、Bさんは「階段を通るくらいなら、雨に濡れても良い」などと様々である。つまり、2属性の and 条件の探索は利用者の違いによって幅がある。

これらに対応するには、動的な得点付けが必要になるのだが、空間属性に対してどれくらいの得点をつけ、どの程度の差を与えれば良いかは、一般的にわかってはいない。

そこで、本節では2種類の空間属性に与える得点の大小関係が探索される経路に与える影響を調べる。本実験に使用する論理空間の空間属性の配置を図4に示す。図5の(i)は空間属性を考慮しない場合の経路を表し(ii)~(x)は網羅的に得点パターンを実験し、得られた移動経路をそれぞれ表している。まず、 W_1, W_2 の両方の得点を増加させると、(ii) (iv) (vii) (x)と経路が導出され、それぞれの経路の出る境界は図6に示すとおりである。次に W_1, W_2 の差を大きくしていくと、得点の小さいほうの属性を完全に無視する経路が導出される(図5() (), 図6)。

各属性の大小関係を経路に反映するには、図6の分布より、約2~3倍の差があれば良いと実験的にわかった。また、経路の出方は、空間属性と障害物(移動することができない所)の分布の状況に強く依存し、ナビゲーション空間が単純であれば、属性への得点が小さくても効果があり、逆に、ナビゲーション空間が複雑で、図4の丸に囲まれた属性を避けたルートのように3.2節で求めた最短距離の指標Lから大きく離れる場合は、空間属性に対して大きな得点をつけなければ、効果がないということがわかった。

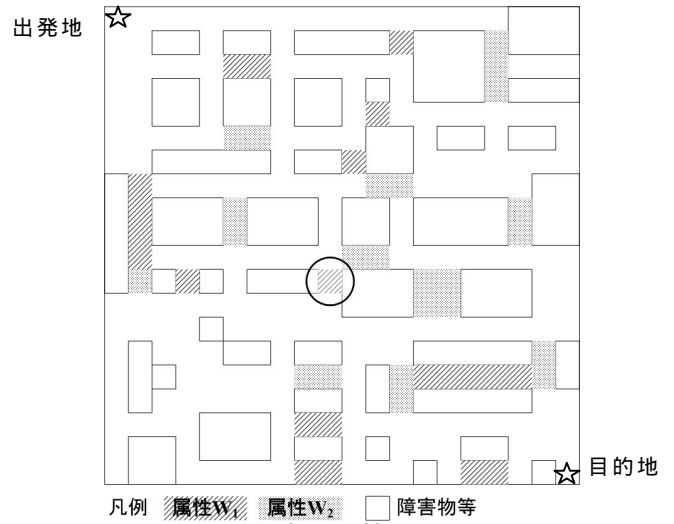


図 4 空間属性の配置図

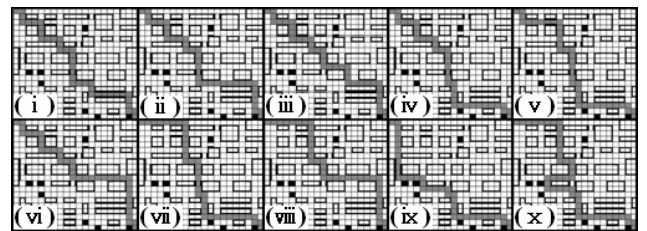


図 5 得られた実行結果 () ~ ()

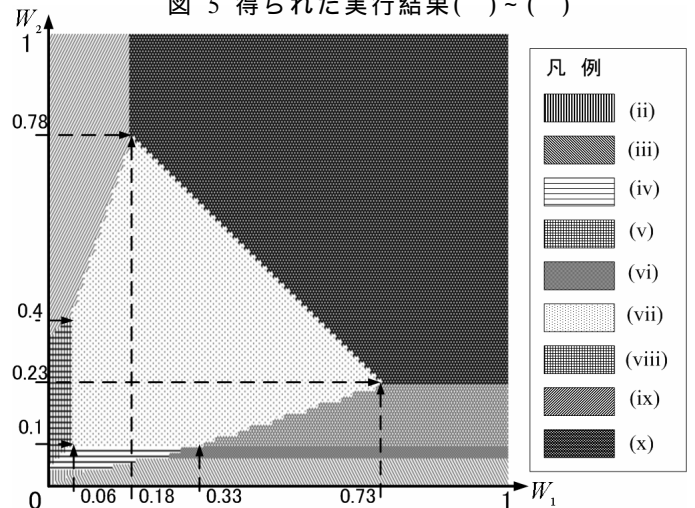


図 6 得点パターンと実行結果の分布

5. 提案手法の利用可能性

本章では、プロトタイプシステムを構築し実環境での利用状況を想定したシナリオに基づいたシミュレーションと提案システムの今後の利用可能性について述べる。

5.1. プロトタイプシステムの構築

3.2 節で述べた手法を用いて利用者の状況に応じて移動経路を提供する状況適応型 PNS のプロトタイプシステムを構築した。プロトタイプシステムは、様々な環境属性や状況属性に対して条件を設定し、出発地点と目的地点を入力することで、条件にあった移動経路を提示する。本システムでは、条件設定に用いた各種パラメータを受け取ると、論理空間の解析部分は、



図 10 室内型イベント会場イメージ

比較的容易に実現可能であると考える。

イベント会場では、予めデータ収集・撒布の基準点として、簡易ポールなどを配置しメッシュの有線ネットワークを張り巡らすことで、データ取得の信頼性を高め、メッシュの構成を行うことも有効な方法である(図 11)。

6. おわりに

本稿では、空間の特徴を仮想空間に埋め込むことによって実現する、状況や目的に応じた歩行者ナビゲーションシステムについて述べた。本システムは、出発地点と目的地点から移動経路を一様に提供するのではなく、各利用者の要望に応じて利用者毎に異なる移動経路を提供することが可能である。今後の課題として、膨大になるメッシュ間のつながりを考慮したデータ構造の仕組み、実環境でのシミュレーション実験、利用者別の得点付け設定方法の導入による個別化、などの検討が挙げられる。

謝辞

本研究の一部は文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業オープン・リサーチ・センター整備事業(平成 15 年度-20 年度)並びに同サイバーキャンパス整備事業(平成 14 年度-16 年度)の一環として、また、同省の「知的資産の電子的な保存・活用を支援するソフトウェア基盤技術の構築」プロジェクトの支援により行われた。

参考文献

- [1] 総務省通達：
http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/pressrelease/japanese/sogo-tsusin/031128-1.html
- [2] KDDI au：EZ ナビウォーク：
http://www.au.kddi.com/ezweb/au_dakara/ez_naviwalk/index.html

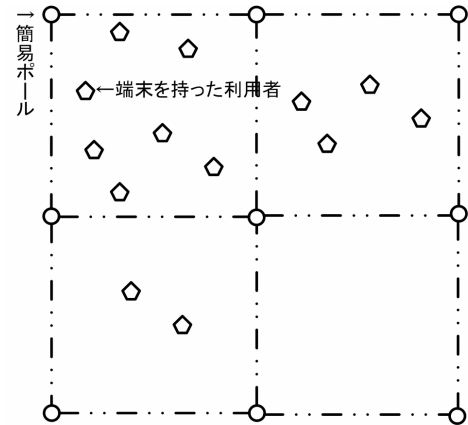


図 11 簡易なセンサーを用いたメッシュネットワークの例

- [3] M-stage：http://www.nttdocomo.co.jp/p_s/mstage/
- [4] 藤井 憲作, 杉山 和弘：携帯端末向け案内地図作成システムの開発, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.9, pp.2394--3003(2000) .
- [5] 藤井 憲作, 杉山 和弘：歩行者ナビゲーション支援のための場所案内文作成手法, 電子情報通信学会論文誌, D- Vol.J82-D, No.11, pp.2026-2034, 1999 .
- [6] 福井良太郎ら：携帯電話における歩行者ナビゲーション情報の表示方法に関する提案と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.12, pp.2968-2978, 2003 .
- [7] K. Lynch：The Image of the City, MIT Press, 1960 .
- [8] 狩野 均：遺伝的アルゴリズムを用いたカーナビのための経路案内方式, 情報処理学会研究報告, 02-ITS-8, pp.51-58, 2002 .
- [9] 狩野 均, 小塚 英城：CA 法による広域道路交通シミュレータを用いた経路案内方式の評価, 情報処理学会研究報告, 02-ITS-8, pp.37-43, 2002 .
- [10] 日裏 博之ら：仮想空間を用いた状況適応型歩行者ナビゲーションシステムの提案, 電子情報通信学会 第 15 回データ工学ワークショップ(DEWS2004), 2C-5, 2004 .