

## 屋内用歩行者ナビゲーションにおける 歩行者の嗜好を反映させる経路探索手法

荒井 亨<sup>†</sup> 戸川 望<sup>†</sup> 柳澤 政生<sup>†</sup> 大附 辰夫<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 早稲田大学 理工学部 コンピュータ・ネットワーク工学科  
〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1  
Tel:03-5286-3396, Fax:03-3203-9184  
E-mail: †toru@ohtsuki.comm.waseda.ac.jp

あらまし 現在、携帯電話を用いて目的地まで利用者を経路案内するサービスが展開している。しかしながら、展開されている経路案内サービスの対象は屋外空間のみである。本稿では、経路案内サービスの対象を屋内空間とし、地下街や百貨店等の屋内空間に特化したネットワークデータを構築する。さらに、携帯端末を用いて屋内用歩行者ナビゲーションサービスを利用することを想定し、歩行者の嗜好性を反映した最適経路を提供することを目的として、屋内に特化した経路探索手法を提案する。提案手法の有効性を示すために2種類のシミュレーション実験を実施し、ユーザにとって最適な経路を出力することができることを示す。

キーワード 屋内空間、歩行者、ナビゲーション、経路探索、嗜好、携帯端末

## A Route Searching Algorithm Based on Individual Preference for Indoor Pedestrian Navigation

Toru ARAI<sup>†</sup>, Nozomu TOGAWA<sup>†</sup>, Masao YANAGISAWA<sup>†</sup>, and Tatsuo OHTSUKI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Department of Computer Science, Waseda University  
3-4-1 Ohkubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555, Japan  
Tel:+81-3-5286-3396, Fax:+81-3-3203-9184  
E-mail: †toru@ohtsuki.comm.waseda.ac.jp

**Abstract** A navigation service for pedestrians using mobile devices, guiding a user to his/her requested destination has become common these days. However such kind of service is available only for outdoor environment. In this paper we focus on indoor environment as a target of a navigation service and propose network data structures specific to indoor environment such as an underground shopping center or a department store. Based on these network data structures, we propose a route searching algorithm which satisfies individual preferences. In order to show the effectiveness of our proposed algorithm, we carry out two types of simulation and indicate that we obtain the optimal route for an indoor navigation.

**Key words** indoor environment, pedestrian, navigation, route search, individual preference, mobile devices,

### 1. はじめに

近年、移動通信網の発展や計算機の小型化・高性能化により携帯電話が急激に普及している。これにより移動通信サービスが大きく展開してきた。これに伴い、携帯電話の利用方法は単なる電話としてのみならず、インターネットアクセスの占める割合が増大し、携帯電話を用いて目的地まで利用者を経路案内するサービスが展開している。

2003年にKDDI社から「ezナビウォーク」と称した歩行者

向けナビゲーションサービスが開始され、NTT DoCoMo社ではi-modeを利用した「ゼンリン携帯マップ」という同様のサービスを提供している。さらに2004年3月から「NAVITIME」という全キャリア対応の総合ナビゲーションサービスが提供されている。どのナビゲーションサービスシステムも現在位置情報をGPS衛星から経度および緯度の数字による絶対的な位置情報として入手し、利用している[1], [6]。

このように現在の位置情報取得方法の主流となっている手法はGPS衛星を利用するものであるが、衛星からの電波を受信

する際、信号が遮蔽される場所においてはこの手法は利用できない。そのため、GPS 信号が遮蔽されやすい地下街や屋内の経路探索サービスは実現化されていない。本稿では、地下街や屋内空間を対象とした歩行者ナビゲーションシステムに関する分野を扱う。

まず、地下街や屋内空間でのナビゲーションシステムを実現するためには、

- (1) 歩行者の位置情報取得
- (2) 経路探索
- (3) 経路および案内表示

の3点が確立されなければならない。

(1)の歩行者の現在位置情報の取得についてはRFIDなどを利用する研究[16]や、GPS衛星が放つ電波と同じ電波を発信する擬似的なGPS衛星であるPseudoliteを利用した研究や無線LAN等を利用した研究[10]など、さまざまな研究がなされている。

(2)の経路探索手法については、屋外空間を対象としたものとして道路ネットワークを利用した研究[12]が数多くなされている。屋内空間を対象とした経路探索手法は[13]で述べられているが、空間モデル化手法については述べられていない。

(3)については、歩行者向けに簡略化地図を生成、あるいは地図上に最適経路を呈示して案内する手法[7],[8],[17]や、経路を文章に変え案内する手法[3],[4],[9]が研究されている。歩行者向け道案内のための経路生成や地図の簡略化について行われた研究[5],[11],[14]の成果は、実際にインターネットサービスの運営に利用されている。

上記(1)~(3)のうち、我々は(2)の経路探索に着目する。屋外空間で用いられている経路探索手法は道路ネットワークを利用し、道路に中心線をリンクとして設置し、中心線同士の交点をノードとして設置している[12]。しかし、屋内空間では広場など、中心線を引くことが不可能なケースが存在することから屋外空間での手法は適用できない。

従来はナビゲーションサービスを利用する主たるユーザはビジネスパーソンであり、「最短経路」を高速に探索することが目的であった。しかし携帯端末の圧倒的な普及に従って、ユーザが、ビジネスパーソンから主婦や高齢者まで急激に広がり、よりきめ細かな道案内への要望が高まってきてきた。そこで、身体状況などに対応して変化する歩行者の経路への嗜好性を取り入れた「最短経路」以外の経路探索を行うことが求められてきていることを背景に、屋外空間を対象としてユーザの嗜好を反映させる経路探索手法についての研究が取り組まれている[15]。このように屋外空間を対象として、歩行者の嗜好を反映させる経路探索を行う研究はされているが、屋内空間を対象としたユーザの嗜好を反映させる最適経路探索に関する研究はされていない。

本稿では、経路案内サービスの対象を屋内空間とし、まず地下街や百貨店等の屋内空間に特化したネットワークデータを提案する。さらに、携帯端末での使用を想定し、歩行者の嗜好性を反映した最適経路を提供することを目的として、屋内に特化した経路探索手法を提案する。提案手法の有効性を示すために

表1 屋内ナビゲーションが必要だと感じる場面

選択肢	性別	人数	%
必要ない	男	2	13.3
	女	2	13.3
屋内にある目的地に行きたいとき	男	13	86.7
	女	12	80.0
友達と待ち合わせをするとき	男	13	86.7
	女	7	46.7
大きい駅で乗換えをするとき	男	8	53.3
	女	7	46.7
屋外と屋内のどっちを通ったほうが早いかわりたいとき	男	13	86.7
	女	9	60.0

2種類のシミュレーション実験を実施し、ユーザにとって最適な経路を出力することができることを示す。

## 2. 屋内空間を対象としたナビゲーションサービス

はじめに屋内空間を対象としたナビゲーションサービスがどのような状況下で必要とされるのかを知るために「Q: 屋内空間ナビゲーションは必要か? また必要ならばどういうときに必要だと感じるか」という設問に対して、携帯電話を通話以外の目的でも利用している年代である高校生・大学生・社会人の15歳から25歳までの健常者の男女それぞれ15人ずつに複数回答を認め実施した。表1に回答を示す。この結果より、「屋内にある目的地に行きたい」という場面で共に80%の回答率を得られた。また、「友人と待ち合わせをするとき」や「屋外と屋内のどっちを通ったほうが早いかわりたいとき」の選択肢では、男性は80%以上選択している。つまり、歩行者は屋内空間を迷わないで行動することを求めていると考えられる。

以上のアンケート結果に基づき、本稿では、携帯端末を用いて屋内空間を対象としたナビゲーションサービスを実現するための経路探索問題を次のように定義する。

[定義1] 携帯端末を用いて屋内空間を対象としたナビゲーションサービスを実現するための経路探索問題とは、現在位置点と目的地点を入力したときに、ユーザの嗜好を反映した経路を探索するものと定義する。

## 3. 屋内空間のモデル化

屋外空間を対象とした歩行者ナビゲーションシステムでの一般的な経路探索は、道路ネットワークデータを利用して道路の中心線にリンクを設置し、リンク同士の交点にノードを設置している[12]。しかし、屋内空間では、道路という概念がなく、図1に示すように中心線を引くことが困難であり、暫定的に引いてもリンク同士の交点が存在せず、ノード・リンクを設置することができない。我々は屋内空間経路探索に特化したノードデータ構造・リンクデータ構造を提案する。

### 3.1 ノード設置構造

実地調査の結果、屋内空間は屋外空間と違い人工的に0から作られるものなので、多くの場合曲線からではなくて直線で構成されていることがわかった。そこで、空間内にある壁やオブ

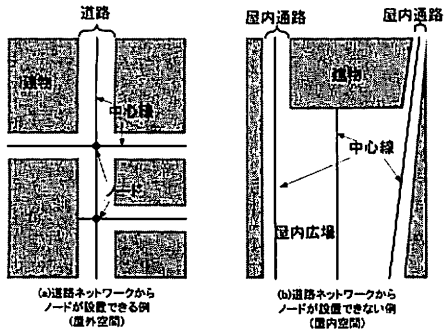


図1 道路ネットワークが利用できない例。

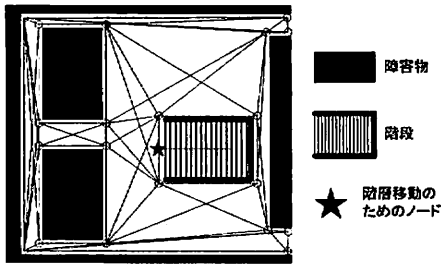


図2 階段のノード設置手法。

ジェクトを構成している直線同士が交わる点にノードを設置することとする。また、曲線で構成されているオブジェクトについては、直線に近似することによって同様に実現する。

屋内空間には、階層があり各階層を結ぶオブジェクトとして階段・エスカレータ・エレベータが存在する。各階層を結ぶ階段に対しては、図2のように階段を1つのオブジェクトとみなし、実際に階層を移動する階段部分については、図中★に示すように階段の中心にノードを設置する。こうすることで階段の裏側にいるユーザ等に階段が存在することを認識させることができる。

### 3.2 リンク設置構造

ノード情報を基にノード同士が障害物に衝突せず結ぶことができる場合、そのノード間にリンクを設置する。つまりノード間に可視枝を引き、可視枝が引くことができる場合のみそれをリンクとする。平面走査法の可視多角形問題[2]を応用して自動化することが可能である。

階段のような階層を結ぶノードには、リンクの数を削減するために他の障害物に設置したノードとのリンクは設置せず、図2のように階段を構成しているノードからのみリンクを設置することとする。エスカレータ・エレベータについても同様である。

### 3.3 本モデル化手法の利点

上述した屋内空間のモデル化手法は、第1に、図1のように対象空間に通路と言えない様な広場があった場合でもノード・リンクを設置することができる点である。

第2に、経路探索の実行結果がラバーバンド図形になるので、より現実に近い「最短経路」を求められるだけでなく、最短経

路を基にして経路に嗜好を反映させることができるので、よりユーザにとって最適な経路を提供することができる点である。

## 4. ユーザの嗜好

ユーザにとって最適な経路を提供するためには、経路探索時にユーザの嗜好を調査しなければならない。しかし、小画面の携帯端末での利用を前提としているため、詳細な項目を幾つも設けて全ての問いに回答してもらうのは不適切であると考えられる。従って、ユーザになるべく少ない設問数で最適な嗜好を判別しなければならない。以下に経路探索時にユーザの嗜好を判別するために行う設問内容・表示順序を提案する。設問内容および表示順序は図3に示す。また、これらの設問を利用して判別する嗜好パターンをフローチャートと共に図4に示す。

### 4.1 設問内容・表示順序

携帯端末は個人が使うものであって、他人と共有したり、他人に貸したりはしないため、毎回同じ端末で使うユーザは携帯電話の所有者であると考えられる。個人特有の嗜好は、毎回大きく変化するとは考えにくい。あらかじめ変化しにくいと考えられる嗜好を個人情報として登録しておけば、全ての選択肢に答える必要がなくなり設問数を少なくすることができる。

はじめに初期設定を行う。初期設定として図3の初期設定(a)、(b)のようにユーザの体力年齢と歩き回るのが苦痛かそうではないかを選択してもらう。この2つの設問の回答は頻繁に変化しないだろうという項目であるので初期設定とした。利用時に毎回この情報を適用する。

次に、選択した選択肢によって、探索された経路が異なる項目を質問する。携帯端末を使う歩行者が怪我をしている場合やベビーカーを使用している場合がある。そこで、図3の選択肢(a)のような項目を質問する。「車椅子・ベビーカー・怪我等によりバリアフリー希望」が選択された場合には、以降の選択肢を表示せず、階段とエスカレータを利用せず、なるべく坂を通らない経路を探索する。ここで、「お好み経路を知りたい」が選択された場合のみ次の設問へ進む。次の設問は図3の選択肢(b)に示すようにユーザの気分を選択してもらう。そして最後に図3の選択肢(c)に示すように、持ち歩くのに大変な重さの荷物を持っているか否かを選択してもらう。以上の選択された条件を利用すれば、その歩行者の嗜好性を反映させる経路探索を行うことが可能であると考えられる。

また図3の選択肢(a)、(b)、(c)までは1画面に表示することも可能であるので、素早く経路探索を実行できる。

また、もし「最短経路を希望」が選択された場合には、初期設定を無視し、さらに以降の選択肢を表示せず最短距離を探索し始める。

なお、ユーザの嗜好というのは、年齢や性別等の属性のみで的確に判別することは不可能であると考えた。従って試行錯誤の上検討した結果、歩行者に選んでもらう選択肢では、「心の声」のような文にした方がユーザの嗜好を的確に判別することができると考え、図3のような選択文とした。

### 4.2 嗜好パターン

以上の設問を経路探索時にユーザに回答してもらうことに

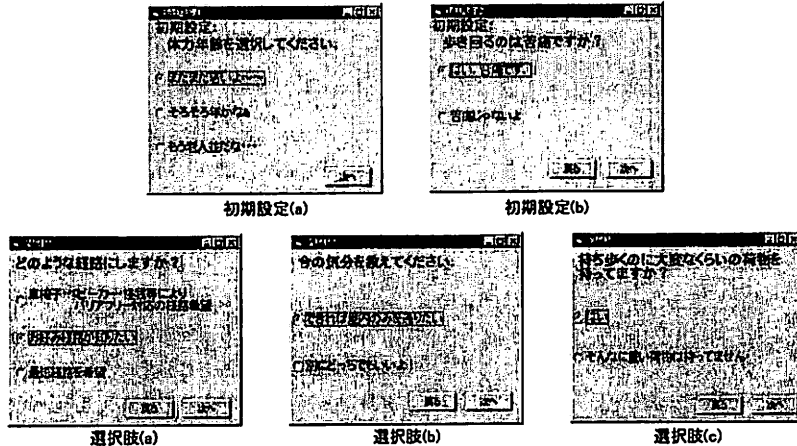


図3 ユーザの嗜好を判別する設問。初期設定設問2問、通常設問3問構成

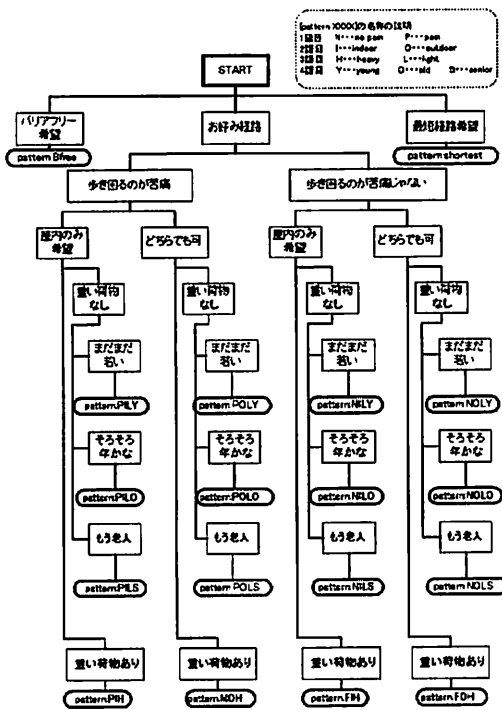


図4 嗜好判別フローチャート。嗜好を判別し、18種類のパターンに分類する。

よって、図4のように18種類の嗜好パターンを判別することができる。この結果を基に各パターンに適した経路を探索することとした。

### 5. 経路探索手法

本経路探索手法は、実際の距離を使用するのではなく、各階層を移動する手段である階段、エスカレータ、エレベータを表すリンクと、屋内空間でありながら屋根に覆われていない部分、さらに同階層で坂になっている部分を表すリンクに対して仮想

距離を算出する。実際の距離と算出した仮想距離を利用して最短経路を求めることで、ユーザの嗜好を反映させた経路が探索できる。図5に提案する経路探索手法の概要を示す。

#### Step 0: 前処理

前処理として、屋内地図を基に図5に示すようにノード情報・リンク情報・階層リンク情報・障害物情報の4種類の情報を抽出し、データベースに格納する。

#### Step 1: 嗜好判別

ユーザは携帯端末の中に組み込まれた嗜好判別アプリケーションを用いて、図3に示した初期設定(a),(b)と選択肢(a),(b),(c)の設問に回答する。2回目以降は、初期設定(a),(b)を除く選択肢(a),(b),(c)の設問のみに回答する。

#### Step 2: 出発地点と目的地点を設定、サーバに送信

ユーザは出発地点と目的地点を登録する。2点の情報と嗜好判別アプリケーションから判別された嗜好を経路探索サーバに送信する。

#### Step 3: 仮想距離導出

Step 0で格納されているデータベースから対象空間のノード情報・リンク情報・階層リンク情報を受信する。次に受信した個人の嗜好を基に対応する各パラメータ値を用いて、階段、エスカレータ、エレベータ、坂、屋根がない部分に対して仮想距離を算出する。パラメータ値はユーザが経路探索時に行う嗜好判別設問の回答によって各パターンについて「総移動階層が1階以下の場合」、「総移動階層が2階の場合」、「総移動階層が3階以上の場合」の3種類ずつ設定済みであるとする。仮想距離は、式(1)を利用して算出する。

$$\text{仮想距離} = \text{実際の距離} \times \text{各パラメータ値} \quad (1)$$

例えば、あるユーザにとって階段は非常に負荷が大きく通りたいくないという嗜好が嗜好判別において求められたとした場合、階段の実際の距離が10mだとしても、30m分に相当すると考え、パラメータを3とし、仮想距離を30mとすることである。この場合は、30m以内の遠回りならばエスカレータやエレベータを利用する経路が探索されるが、30m以内に階段以外に階

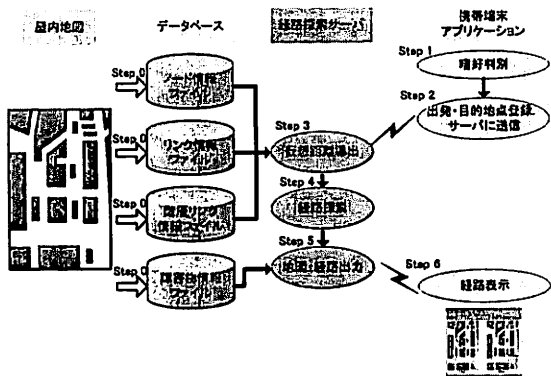


図5 データ構造と提案手法の流れ。

層を移動する手段が存在しない場合は階段を通る経路が探索される。

#### Step 4: 経路探索

仮想距離が設定された場合は仮想距離を使用し、それ以外は実際の経路を使用し、最も一般的な経路探索アルゴリズムであるDijkstra法を利用して最短経路を探索する。

#### Step 5: 地図・経路出力

データベースから経路探索対象空間の障害物情報を受信し、地図情報を出力する。Step 4で探索された経路を地図情報に付加し、携帯端末に送信する。

#### Step 6: 経路表示

経路探索サーバから携帯端末に経路探索結果を送信し、携帯端末画面に地図を描画し表示する。

## 6. シミュレーション

提案手法の有効性を確認するために本稿では2種類のシミュレーションを実施した。シミュレーション1では仮想屋内空間を作成しモデル化を行い、出発地点および目的地を設定して3種類の経路探索を行った。また、シミュレーション2では実際に池袋駅(東京都豊島区)の構内地図と西武百貨店のフロアマップからモデル化を行い、1種類の経路探索を行った。シミュレーションにより、ユーザの嗜好により同じ出発地・目的地でも出力結果が異なる経路が探索できることを実証する。本シミュレーションは、Microsoft Visual C++ 6.0で作成した。さらに実行結果は拡大縮小が容易に行うことができる点からAdobe SVG Viewer 6.0をプラグインとして追加したwebブラウザ(Internet Explorer)上に表示させた。シミュレーション環境は、Intel Pentium 4 Processor 2.80GHz 1.00GB RAMを使用した。

### 6.1 シミュレーション1(仮想屋内空間)

図6に(a)作成した仮想屋内空間、(b)ノード設置図、(c)リンク設置図を示す。探索する経路は、(1)最短経路、(2)バリアフリー経路、(3)嗜好を反映させた経路(階段を使いたくない経路)の3経路を探索する。

#### 対象空間と前提条件

対象とする空間は、仮想的に作成した図6の(a)のような屋

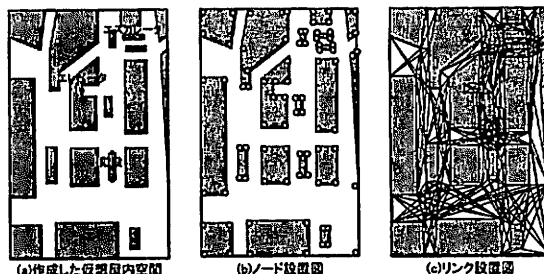


図6 シミュレーション対象の仮想空間地図。

内空間を2つ組み合わせた2階建て構造であり、それぞれの構造は1階、2階ともに全く同じとした。階層を移動する手段は図中に示すように階段、エスカレータ、エレベータ、それぞれ1個ずつ存在するものとした。なお、シミュレーション1で使用したノード数は172、リンク数は1050である。

#### 実行結果

出発地点と目的地のノードIDを入力する。入力後、判別したユーザの嗜好から各種パラメータを導入し、仮想距離を計算し、経路がテキストで表示すると同時にブラウザに地図と経路を表示した。

実行結果として図7に(a)バリアフリー経路、(b)最短経路、(c)エスカレータを使用する経路の3種類の経路探索結果を示した。また、出発地点と目的地は図7中に示した。

実行結果より「バリアフリー経路」はエレベータを利用する経路が出力され、経路として段差を経由しないバリアフリーな経路が出力された。「最短経路」は目的地までの最短距離を出力するので、階段を利用する経路が出力された。「最適経路」は、エスカレータを好むユーザの嗜好を反映させることができ、エスカレータを利用する経路が出力された。出発地と目的地を入力し経路探索を開始してから、経路が描画される間の実行時間は約16msecであった。

### 6.2 シミュレーション2(池袋駅構内)

池袋駅構内と西武百貨店の地下1階地図と西武百貨店地下2階地図を利用してバリアフリー経路を探索し、実際の駅でも経路探索が可能であることを示す。

#### 対象空間と前提条件

対象とする空間は、池袋駅と西武百貨店を組み合わせた2階層の構造であり、出発地点は池袋駅のJR山手線内回りホームとリンクしているエレベータ(地下1階)とし、目的地は西武百貨店地下2階のある地点とした。

#### 実行結果

図8に出力結果を示す。実行結果より「バリアフリー経路」はエレベータのみを利用し、段差を経由しない経路が出力された。

## 7. おわりに

本稿では、屋内用歩行者ナビゲーションにおける歩行者の嗜好を反映させる経路探索手法を提案し、シミュレーションを行った。屋内空間の経路探索を行う際には、屋外空間の経路探

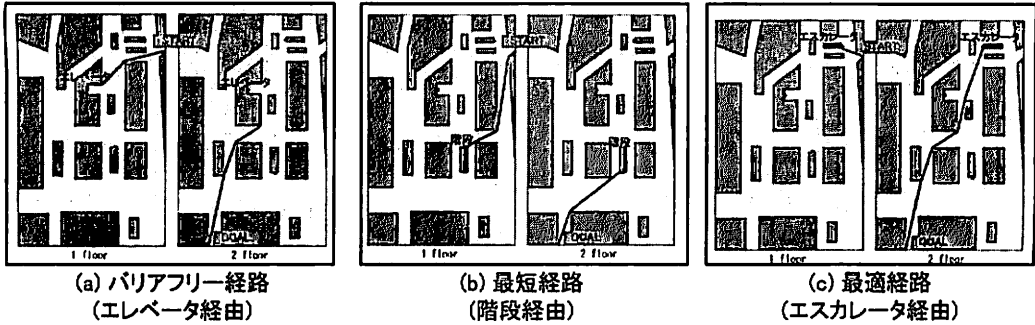


図7 経路表示結果. 3種類の経路比較.

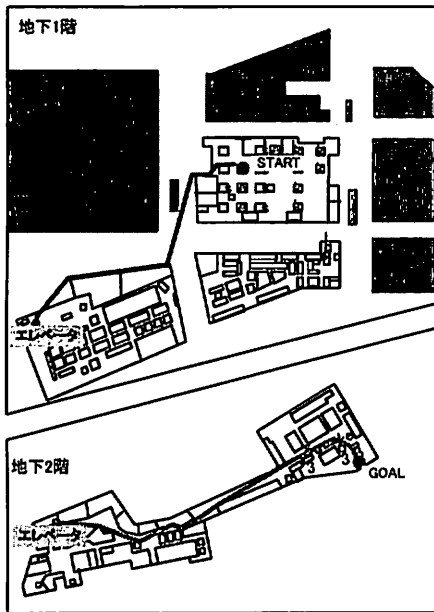


図8 池袋駅と西武百貨店を組み合わせた実際の地図に経路探索結果を表示.

素手法に用いられる道路ネットワークが利用できないことから、新たにモデル化手法を確立し、シミュレーション時に屋内地図からモデル化を行った。また、携帯端末画面でユーザーの嗜好を反映させる経路を探索するために、なるべく少ない設問数で嗜好を判別する手法を提案した。判別した嗜好に応じて、階層をリンクする移動手段にパラメータとして負荷をかけた。仮想距離を算出したのちに、仮想距離を用いて最短経路を探索することによって、ユーザーの嗜好を反映させる最適経路を算出する手法を提案した。さらにシミュレーションを行うことによって、ユーザーの嗜好によって、出力される経路が異なることを確認した。

今回のシミュレーションでは、地図と経路をPC画面上に表示したが、将来は携帯端末での利用を想定している。そこで、今後の課題として、携帯端末の微小画面で視認性を考慮した経路表示手法を検討していく必要がある。

## 文 献

- [1] 浅井敬, 影本哲哉, 坂本直史, 長谷智弘, “32ビット組み込み型プロセッサの用いたGPS衛星補正処理の高速化手法,” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-B, No12, pp2051-2060, 2001.
- [2] 浅野 孝夫, 今井 浩, 新コンピュータサイエンス講座 計算とアルゴリズム, オーム社, 2000.
- [3] 藤井憲作, 若林佳織, 山森和彦, “位置関係に着目した場所案内文生成手法,” 1997年電子情報通信学会総合大会講演論文集, D-12-26, 1997.
- [4] 藤井憲作, 杉山和弘, “携帯端末向け案内地図生成システムの開発,” 情報処理学会論文誌, Vol41, no9, pp2394-2403, 2000.
- [5] 長谷川保, 松田三恵子, 久保田浩明, “歩行者向け対話型道案内サービスのための案内テキスト生成,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol101, No227, pp43-48, 2001.
- [6] 初田健, 山田芳伸, 長田祐悟, 小林強志, 加藤忠義, 青木由直, “移動体衛星通信用静止画像の都市内遮蔽特性-GPS衛星を用いたSat.D特性推定法と測定結果-,” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-B, No12, pp1978-1986, 2001.
- [7] 堀田健史, 山守一徳, 長谷川純一, “デフォルメ地図自動生成システムの開発,” 情報処理学会論文誌, Vol37, No9, pp1736-1744, 1996.
- [8] 木村俊洋, 堀江政彦, 淡誠一郎, 馬場口登, 北橋忠宏, “地図情報の取捨選択による経路理解の向上の一手法,” 1996年電子情報通信学会総合大会講演論文集, A-361, 1996.
- [9] 木村俊洋, 鈴木祥宏, 淡誠一郎, 馬場口登, 北橋忠宏, “地図道路構造のモデル化とそれに基づく略地図と案内文の生成,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.96, No491, 492, pp113-120, 1996.
- [10] 北須賀輝明, 中西恒夫, 福田晃, “無線LANを用いた屋内向けユーザ位置測定方式WIPSの実装,” 情報処理学会論文誌, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2004) シンポジウム論文集, pp.349-352, 2004.
- [11] 久保田浩明, 谷川智秀, 長谷川保, 松田三恵子, “携帯電話向け道案内生成のための地理情報処理,” 機能図形シンポジウム, pp55-58, 2001.
- [12] 李 燕, “地図から詳細な交通ネットワークデータの作成システム,” 土木計画学会研究講演集, 25, 2002
- [13] 蒔苗耕司, 高木美紀, “歩行者経路案内のための3次元都市空間データモデルの構築,” 地理情報システム学会講演論文集, Vol12, 2003.
- [14] 松田三恵子, 長谷川保, 久保田浩明, “経路パターン解析に基づく歩行者向け道案内生成,” ヒューマンインターフェースシンポジウム 2001, 3232, pp473-476, 2001.
- [15] 松田三恵子, 杉山博史, 土井美和子, “歩行者の経路への嗜好を反映した経路生成,” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J87-A, No1, pp132-139, 2004.
- [16] 椎尾一郎, “RFIDを利用したユーザ位置検出システム,” 情報処理学会研究会報告 00-HI-88, pp.45-50, 2000.
- [17] 谷川智秀, 久保田浩明, “道案内のための地図情報の簡略化手法,” 第57回(平成10年後期)情報処理学会全国大会論文集, pp2-109-2-110, 1998.