

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21650238

研究課題名（和文） 認知科学とプリント基板配線を応用した屋内経路探索とその表示手法

研究課題名（英文） Indoor Route Search and Display Methods based on Cognitive Science and Printed Circuit Board Wiring

研究代表者

戸川 望（TOGAWA NOZOMU）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：30298161

研究成果の概要（和文）：

現在、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通信サービスが急激に成長している。しかしながら、屋内歩行者ナビゲーションでは位置追跡システムが難しいことや、屋外環境と異なり道路ネットワークが存在しないことが問題となり停滞している。本研究では、プリント基盤配線を応用し、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モデル化手法を構築し、これを用いることで認知科学的経路探索、経路案内を含めたトータルナビゲーションを構築する。実環境での運用実験を実施し評価する。

研究成果の概要（英文）：

Mobile communication services rapidly grow up due to mobile communication network development and downsized mobile devices. However such kinds of services are available only for outdoor environments, since it is difficult to trace positions in indoor environments. Moreover there exist few research works to automatically model indoor environments. In this research, we propose a method to automatically model indoor environments, making use of PCB wiring techniques. Based on this modeling, we propose an indoor pedestrian navigation system including route searching and route guidance. We have shown the effectiveness of our proposed systems through practical experiments.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,000,000	0	1,000,000
2010年度	1,100,000	0	1,100,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	330,000	3,530,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：地理学

キーワード：地理学

## 1. 研究開始当初の背景

インターネット接続を可能とした携帯電話の急速な普及と、総務省による位置特定システムの携帯電話への搭載義務化により、携帯電話による地理情報サービスが急速に拡

大している。従来、地理情報サービスは、カーナビゲーションに代表されるように主に屋外空間を対象としていたが、携帯電話は主に歩行者が持ち歩くことから、対象空間が屋内空間に拡大している。とりわけ、近年、複

雑化する駅構内や空港、複合商業施設などが登場してきたことから、屋内空間を対象としたナビゲーションサービスの需要は極めて高い。ところが、多機能な携帯電話の普及と複雑化した駅構内、複合商業施設などは我が国特有の状況であり、屋内空間を対象とした地理情報に関する研究は国外ではほとんど進んでいない。同様に国内においても、一部の携帯電話サービス会社が、駅構内の案内を始めているが、これは屋外空間のナビゲーションをそのまま屋内空間に持ち込んだだけであり、屋内空間特有の問題を解決するに至っていない。

今後、ますます複雑化する屋内空間ならびに、屋外空間と屋内空間とを合わせた総合的なナビゲーションを実現するためには、屋内空間に特化した経路探索と経路表示手法の確立が不可欠であり、またこの分野で世界をリードする我が国のソフト面での競争力を保持する最大の好機でもある。

これまで屋外空間向けナビゲーションでは、交差点をノット、道路の中心線をエッジとする道路ネットワークを構成し、この道路ネットワーク上で最適経路探索を行って来た。ところが、屋内空間にはもともと明確な交差点や道路がなく、屋外空間と同様に道路ネットワークを構築したとしても、必ずしも実際に歩行者の歩行経路と一致せず、多様な用途を持つ歩行者向けナビゲーションとして大きな問題がある。一方、申請者はこれまで主に LSI (大規模集積回路) やプリント基板を対象としたシステム設計、配置・配線設計に取り組んで来た。とりわけプリント基板の配線設計は、装着ずみの部品を避けて、始点の端子から終点の端子までをメタル配線によって接続するものである。中でもラバーバンドスケッチと呼ばれるゴムひもをモデル化した配線手法は任意の角度を持った配線を構築できる。プリント基板上の部品を屋内空間の障害物に、配線経路を歩行経路に置き換えれば、ラバーバンドスケッチによる配線手法を屋内空間のための歩行経路探索に適用できる可能性がある。

さらに加えて、認知科学的観点に着目すると、我々が実施した本研究のための予備実験によると、人間が持つ方向判断基準は実際の地形、空間と一致せず「できるだけ見通しのいい直線を進みたい」、「早く目印を見付けたい」といった感覚的な要素が多いことに気付く。最適な歩行経路の探索ならびにその表示を考えたとき、「迷わない」、「見やすい」経路を得るにはこのような人間が持つ感覚的な特性を考慮するのが不可欠であると考えられる。

## 2. 研究の目的

以上の背景より、本研究ではプリント基板

配線における配線手法を応用し屋内空間向けデータ構造を構築し、なおかつ、認知科学を採り入れた屋内経路探索とその表示手法を構築する。

## 3. 研究の方法

屋内環境の代表例として大規模ターミナル駅などがあるが、これらはバリアフリーを目的としエレベータを後から改装するなど、複雑な構造を持っており歩行者は屋内環境で迷う、不安に思うことなど多々あり、屋内歩行者ナビゲーションシステムの必要性は極めて高いと言える。しかしながら屋内環境における歩行者ナビゲーションは位置追跡が難しい点や屋外環境と異なり道路ネットワークが存在しない点が問題となり停滞している。屋内向け歩行者ナビゲーションの停滞要因は大きく次の3つがあると考えます：

1. 経路探索
2. 経路案内・表示
3. 現在位置情報取得

1. の経路探索では屋外空間を対象とした道路ネットワークを利用した研究が数多く行われている。一方屋内環境における経路探索手法、空間のモデル化の研究例は少ない。2. の経路案内・表示ではユーザに対してどのように地図や経路、案内を見せるか研究が行われ屋内空間特有の階層構造を鳥瞰図で表現する研究や歩行者への案内文についての研究が存在する。3. のユーザの現在位置情報取得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、信号が遮断される場所においてはこの手法は利用できず、GPS 信号が遮断されやすい地下街や屋内の経路探索サービスにおいて実現化されていない。屋内環境のユーザの位置情報の取得では RFID を利用する研究や無線 LAN を利用する研究など様々な研究がされている。

上記 1. ~3. のうち我々は 1. の経路探索に着目し、これを軸とした経路案内・表示、現在位置情報取得を含めたトータルナビゲーションに注力する。

屋外空間で用いられているモデル化手法は道路ネットワークを利用し、図 1 のように道路の中心線をリンクで表し、中心線同士の交点をノードとして表している。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用いられているモデル化手法は適用できない。モデル化を手動で行う場合、ノードとリンクをどのように設置すれば経路探索に適したモデルとなるか考えるのは手間が大きく、また多数の屋内空間に対して手動でモデル化を行うのは現実的ではない。そのた

め計算機によりモデル化を自動で行う必要がある。著者の知る限り屋内空間の自動モデル化に関する研究は少ない。これまで空間を可視多角形に分割する手法を取り上げているが、これは複雑な構造をもつ駅や百貨店といった多様な屋内空間を網羅できるものではなく自動にモデル化を行うことが難しい。ラスターマップに対し画像処理で自動にモデルを生成することができるが、メッシュ構造のモデルを構成しており、このモデルに対し経路探索を行うと角ばった経路が導出されるため歩行しやすい経路にするため平滑化しなければならないが、計算時間に問題が残る。加えて「階層」の概念を考へておらず画像処理でラスターマップの画素情報のみで判断するため歩行者の嗜好を反映させることが難しい。

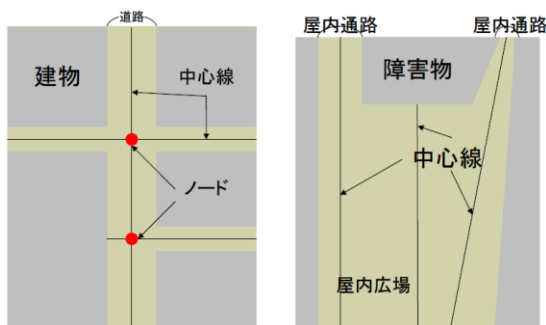


図1: 屋外空間のモデル化(左)と屋内空間のモデル化(右)。

本研究では、プリント基盤配線から着想し、主に「可視グラフ」を基本データ構造とし、屋内環境モデル化に基づく屋内環境向けナビゲーションシステムを提案する。可視グラフによる屋内環境モデル化は可視グラフを利用したノードとリンク構造を利用しモデル化し、これに基づき、経路探索、経路誘導、現在位置情報を網羅したトータルな屋内環境向けナビゲーションを実現する。実環境におけるシステム運用実験を実施し、本研究の有効性を示す。

### (1) 可視グラフを用いた屋内空間の自動モデル化

経路を探索する際には探索する空間のモデル情報が必要となる。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モデル化は道路ネットワークを利用したものであるが、屋内空間では同様に扱えず、独自のモデル化を必要とする。屋内空間をモデル化する際に以下の3点に注意しなければならない：

(A) 広場：屋内空間には屋外空間と異なり一方に長い道以外にも開けた空間である広場が存在する。広場は道路ネットワークのよ

うにモデル化することはできない。

(B) ドア・改札：屋内空間にはドアや改札などのように通行可能か可変であるものが存在する。

(C) 階層：屋内空間には階層があり、階層間を移動する手段として階段、エスカレーター、エレベーターなどがある。階層間を移動する手段をどのように選択するかはユーザの嗜好による。

屋内空間のモデルとして屋内空間の障害物に対し各頂点をノードとし各ノードから障害物を挟まない可視枝をリンクとした可視グラフを利用したモデルを提案する。このモデルを利用することで以上の3点を考慮できる：

(A') 広場：可視グラフを利用することで広場に対してもリンクを引くことが可能になる。

(B') ドア・改札：ドア・改札に関しては、ユーザが通過できないものはそれを障害物と見なし、通過可能であれば通路と見なす。通過できるかどうかは一定でないものに関しては特別なリンクとして扱うことにより考慮できる。

(C') 階層ユーザの嗜好に沿うように経路を選択可能にするため Dijkstra 演算にユーザからのパラメータを反映させる。また、可視枝のリンクとは別の特殊なノードとリンクとして定義することにより考慮できる。

可視グラフによる屋内環境モデル化はノード設置手法とリンク設置手法からなる。

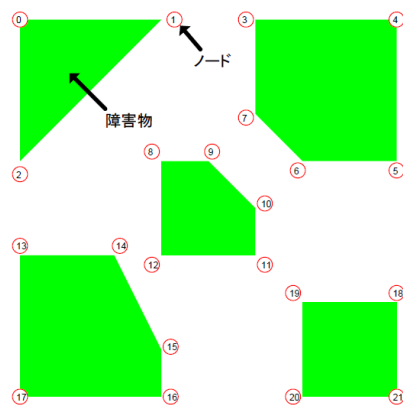


図2: ノードの設置。

#### ①ノード設置手法

ノード設置手法は店など歩行者が歩行できない空間である障害物の情報をもとに実行される。その際、屋内空間は多くの場合、曲線からではなくて直線で構成されており、曲線で構成されている障害物については直

線に近似し全て直線で扱うものとする。まず、空間内にある障害物を構成している直線分同士が交わる点にノードを設置する。各障害物ごとにノードを設置した例を図 2 に示す。

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・エレベータが存在し、各階層を結ぶオブジェクトに対し別途階層ノードを用意する。

## ②リンク設置手法

ノード情報をもとに同階層の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が引くことができる場合のみそれをリンクとする。可視多角問題に対する平面走査法を応用して自動化することが可能である。例えば、図 2 で設置されたノードに対し計算機により自動でリンクを設置した結果を図 3 に示す。

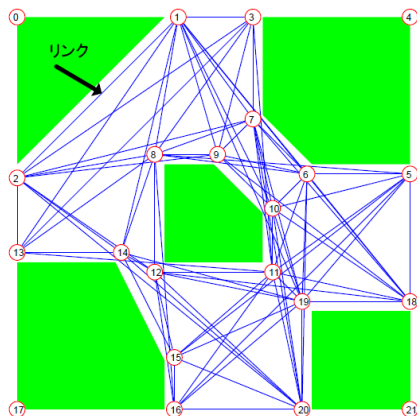


図 3: リンクの設置.

## (2) 屋内空間を対象とした歩行者ナビゲーションシステム

カーナビゲーションシステムには測位技術、経路探索技術、経路誘導技術からなる。これを踏まえ、本研究では図 4 に示すような経路探索と測位技術を含んだ経路誘導からなるステップで構成される歩行者ナビゲーションシステムを構築した。

また、歩行者向けの携帯端末ナビゲーションシステムの多くはサーバクライアントの構成をとる。これはサーバにおいてデータベースを保持し経路探索結果をメモリ容量が少ない携帯端末に送るためである。よってシステムにおいてもサーバクライアント構成をとる。屋内空間に対しユーザの経路探索の嗜好には、階層移動手段の選択、混雑度に応じた経路探索などがある。本研究では階層移動手段の選択によるユーザの嗜好を反映した経路探索を行う。階層を移動する手段として階段、エスカレータ、エレベ

タなどが存在し、経路探索を行う際これら階層を移動する手段のうちどれを選ぶかはユーザの嗜好により分かれる。そのためユーザの嗜好を反映させる重みパラメータを導入しユーザの嗜好にそって経路探索を実現する。

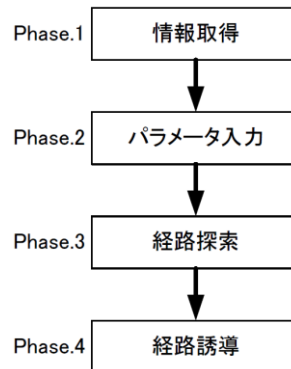


図 4: ナビゲーションの流れ.

## 4. 研究成果

研究成果として(1)屋内空間のモデル化に関する成果ならびに(2)屋内空間ナビゲーションに関する成果を報告する。

### (1) 屋内空間のモデル化の成果

提案・構築した屋内空間の自動モデル化手法の有効性を確認するために仮想屋内を対象にした評価実験と、実在する屋内空間を対象とする評価実験を行った。対象とした空間は仮想屋内空間、駅、百貨店、ショッピングモールなどの実在する屋内空間である。これらに対し自動モデル化手法を行い、経路探索を行った。すべての評価において実時間内でモデル化を完了し、また歩行者にとって「妥当な」歩行経路を探索できることを確認した。

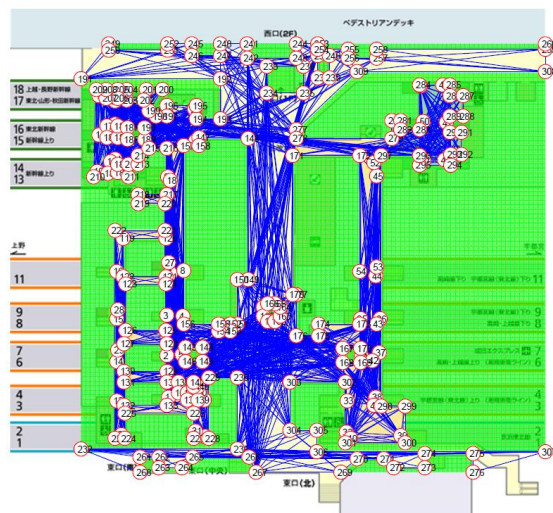


図 5: JR 大宮駅のモデル化.

評価実験の一部である JR 大宮駅に対しノードリンク設置を行ったものを図 5 に示す。乗り換え案内などの最短経路探索では日本全国の駅を対象としノード数は約 9000, リンク数約 28000 を用いたモデルが利用されている。このモデルと比較しても可視グラフのノード数, リンク数は膨大な数ではなく, 評価実験で最大のリンク数である日本橋三越本店のリンク数は 18744 本で 28000 を下回り, 自動モデル化手法の実行時間は実現に耐えるものである。

## (2) 歩行者ナビゲーション運用実験成果

構築した屋内ナビゲーションシステムの有効性を確認するため実在する空間早稲田大学グリーンコンピューティングシステム研究開発センター (40 号館) (以下 GCS と略す) に対してシステムの運用実験を行った。クライアントとして LifeTouch Note, サーバとして HP xw9400, また現在位置認識のため 3 機のアクセスポイントを利用した。

実験結果として歩行中の端末のスクリーンショットを図 6 に示す。ユーザから探索命令に対し携帯端末が経路を表示するまでの時間は応答時間は 511ms であり, 実用運用に足るシステム設計が達成されたと考える。

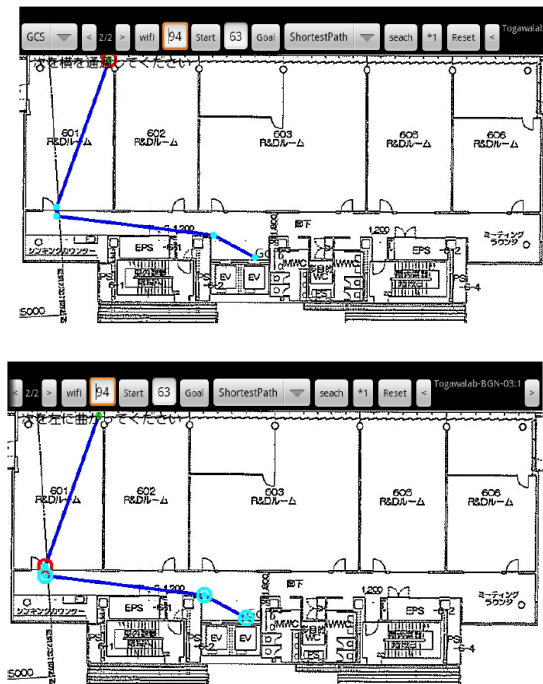


図 6: 歩行者ナビゲーションのスクリーンショット。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- [1] [査読有] 児島伴幸, 山根和也, 柳澤政生, 大附辰夫, 戸川望, “道路標識とランドマークを用いた歩行者位置特定システムと実地調査による評価,” 情報処理学会論文誌, vol. 51, no. 3, pp. 899-913, 2010.

[学会発表] (計 8 件)

- [1] 町田直哉, 柳澤政生, 戸川望, “屋内環境モデル化と柔軟な歩行経路生成手法,” 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02011)シンポジウム, 2011年7月7日, 京都府宮津市.
- [2] 杉岡基行, 柳澤政生, 戸川望, “歩行者ナビゲーションのための屋内環境での空間認知,” 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOM02011)シンポジウム, 2011年7月7日, 京都府宮津市.
- [3] 田口真史, 児島伴幸, 柳澤政生, 大附辰夫, 戸川望, “携帯電話 GPS の測位誤差測定に基づく道路標識とランドマークを用いた位置特定システムの改良,” 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOM02010), 2010年7月9日, 岐阜県下呂市.
- [4] 下坂知輝, 戸川望, 柳澤政生, 大附辰夫, “MANET における SIP サーバレスシステム,” 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOM02010), 2010年7月9日, 岐阜県下呂市.
- [5] 児島伴幸, 柳澤政生, 大附辰夫, 戸川望, “歩行者の現在地認識に基づく道路標識とランドマークを用いた位置特定システムの改良とシミュレーション評価” 電子情報通信学会高度交通システム研究会, 2010年2月16日, 北海道札幌市.
- [6] 竹内博是, 戸川望, 柳澤政生, 大附辰夫, “複数のグループを持つ無線アドホックネットワークにおける衝突回避型マルチキャストプロトコル” 電子情報通信学会アドホックネットワーク研究会, 2010年1月22日, 静岡県浜松市.
- [7] 板橋裕介, 戸川望, 柳澤政生, 大附辰夫, “アドホックネットワークにおけるクラスタの接続性とクラスタヘッドの負荷分散を考慮したルーティング” 電子情報通信学会アドホックネットワーク研究会, 2010年1月22日, 静岡県浜松市.
- [8] 児島伴幸, 山根和也, 柳澤政生, 大附辰夫, 戸川望, “道路標識とランドマークを用いた歩行者位置特定システムと実地調査による評価” 情報処理学会マ

ルチメディア, 分散, 協調とモバイル  
(DICOM02009) シンポジウム, 2009 年 7  
月 8 日, 大分県別府市.

[その他]

[1] [ホームページ]

[http://www.togawa.cs.waseda.ac.jp/  
research/map/](http://www.togawa.cs.waseda.ac.jp/research/map/)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

戸川 望 (TOGAWA NOZOMU)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号 : 30298161