

道路網の階層的表現にもとづく経路探索アルゴリズムと 地図情報システムへの応用†

丹羽 寿 男^{††} 吉田 雄 二^{†††} 福村 晃 夫^{††††}

地図には、道路網、地名、町名、建物、鉄道、河川など種々の情報が示されている。最近、これらの地図情報のデータベース化がいろいろな目的に合わせて進められている。本論文では、これらの地図情報のうちで道路網をとりあげ、これを、階層化して表現する。これにもとづき、各種の経路探索問題に対して、Dijkstraのアルゴリズムを基本にした、より効率的なアルゴリズムを構成する。道路網の階層としては、町内の道路のような生活道路、表通りあるいは幹線道路（バス通りなど）、高速道路、国道などを基準として考える。全体の道路網を一様に扱うと、道路網のデータが大規模になるのみならず、最短経路探索の手間が極めて大きくなる。これに対して、本論文で述べる、道路の階層性を考慮した手法によれば、完全な意味での最短ではなくて、むしろ、人の直感に合った意味でのある種の最適経路を効率よく求めることができる。本論文では、このような考え方にもとづいた道路網データの表現法と、その上での最適経路探索アルゴリズム、およびこれらを活用して構成された地図情報の検索システムについて述べる。

1. ま え が き

地図には、種々の情報が含まれている。これらの情報を有効に利用するために、各種の管路あるいはケーブル（水道、ガス、電力等）の管理、工事計画支援、あるいは地理情報サービスを目的としてデータベース化が進められている^{1)~4)}。

市街地地図については、複雑な網目状に道路が示されていて、さらに地名、町名、建物、鉄道、河川などの情報も示されている。これらの情報を管理するためには、その地理的關係も含めて蓄積することが必要である。また、各種の地理情報を検索するシステムでは、蓄積された情報から迅速に、かつ正確に必要な情報を抽出することが重要となる。

本論文では、市街地地図のデータベース化において、市街地の道路の役割の階層性に着目して、道路網を表現する方法と、それにもとづいて実用的な意味で最適な経路を求めるアルゴリズムを提案する。また、この方法を応用した地図情報システムを実際にワークステーションに実現したので報告する。

市街地地図のデータベース化において、地図表現のさまざまなデータ構造が提案されている^{5),6)}。本論文で示す道路網の表現方法は、市街地の道路がバス道路

等の幹線道路と、それらに囲まれた領域内部の生活道路とに分類されることにもとづいている。また、経路の探索方法^{7),8)}は、道路の役割を意識して、我々人間が経路を定めるときには、単純な最短経路にはよらず、例えば、分かりやすい経路、車が走りやすい幹線を主とする経路を選択することなどに着目している。

このような最適な経路を求めるアルゴリズムを、最短経路を求めるDijkstraのアルゴリズムを基本にして構成した。また、このアルゴリズムをもとに、道路に一方通行のような制約条件のある場合に対しても適用可能なアルゴリズムを与える。

以下、本論文では、2章で道路網情報の記述について述べ、3章ではこの記述を用いて表現された道路網上での最適な経路の検索アルゴリズムを示す。さらに、4章でこれらの記述とアルゴリズムを適用して実現した地図情報システムについて述べ、最後に5章で、今後の課題について触れる。

2. 道路網の階層的表現と経路探索

本章では、経路の探索問題と本論文で提案する道路網情報を階層的に表現する方法について述べる。

2.1 道路網の階層化

人が地図から種々の情報を抽出する場合には、局所的な情報から大局的な情報まで、いろいろな水準で地図を参照する。よって、広い範囲にわたる地図全体を一律に扱うのではなく、地図全体の領域をいくつかの小領域に分割し、全体に関する情報と小領域に関する情報とに、階層化すると効果的である。階層を定義する基準として道路の役割による階層（路地、バス道

† Path Finding Algorithms Based on the Hierarchical Representation of a Road Map and Its Application to a Map Information System by HISAO NIWA (Matsushita Electric Industrial Co., LTD.), YUJJI YOSHIDA (Department of Information Engineering, Faculty of Engineering, Nagoya University) and TERUO FUKUMURA (School of Computer and Cognitive Science, Chukyo University).

†† 松下電器産業(株)

††† 名古屋大学工学部情報工学科

†††† 中京大学情報科学部

路、高速道路等)による方法、行政区画の階層を用いる方法が考えられる。後者は必ずしも道路をその基準として区画化されているとは限らないので、道路網を中心とする種々の情報の検索のためには、前者を基準とするのが妥当である。後者は、実際にデータとして道路網とそれに付随する情報を蓄積する場合に、各階層に含まれる網の規模を定める基準とするのに有効と考えられる。

階層は道路の役割を基準として定義されるので、上位層の道路ほど、広く長い道路で、長距離の移動に適している。例えば、最下層が生活道路、それから幹線道路(バス道路)、国道、高速道路というような階層が考えられる。

図1は、2階層の場合で、幹線道路とそれらに囲まれた領域内の道路網というように階層化されている。一般に上位層は、地図の大局的構造を幹線道路図にもとづいて表現している。一方、下位層は、上位層が表現する領域を幹線道路で区切り、それで得られる各多角形領域(これをブロックと呼ぶ)内の道路網の構造を表現している。

2.2 経路探索の問題

ここで考える問題は、対象とする領域の地理に詳しくない人が道案内のための経路を探索する場合(徒歩および自動車)を想定している。すなわち、探索する経路の出発地点と目的地点が与えられて、出発地点から目的地点までの経路を求める問題である。

一般に、最短経路は、Dijkstraのアルゴリズムで解くことができる。ここで求める経路は、必ずしも最短経路ではなく、初めてその土地を訪れる人が地図を見て選択する経路と考える。すなわち、近距離の移動は生活道路を利用し、遠距離の移動ほど広い道路(地図上で大きく描かれている道路)を利用する経路である。これは、遠距離の移動ほど上位層の道路を利用することを意味している。

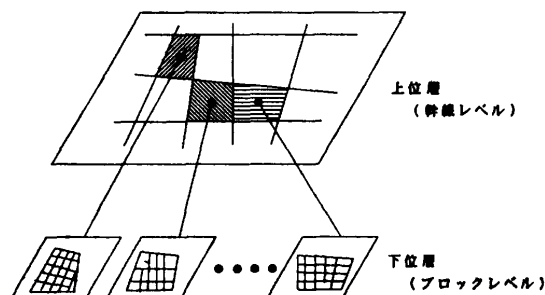


図1 階層的記述

Fig. 1 Hierarchical description.

このような、道路の階層性を考慮した経路の探索は、経路の分かりやすさ、鉄道、バスなどの各種の交通手段を利用する場合の経路をモデル化している。ここで述べるアルゴリズムにより求められる経路は、すべての道路の階層を考慮せずに一様に扱ってDijkstraのアルゴリズムを適用して得られる経路とは異なる。この問題(これを基本問題と呼ぶ)は次のように定式化される。

【経路探索の基本問題】

2つの地点(出発地点と目的地点)が与えられる。出発地点および目的地点の属する階層から、出発地点と目的地点を同時に含むブロックの属する階層までのそれぞれの階層において、出発地点および目的地点の属するブロック内の道路のみを経由する経路で最短なものを求めよ。

また、経路の選択に対して一方通行・右折禁止などの交通規制に対する制約条件がある場合には、その条件に従う経路を探索する制約条件付きの問題(変形問題)がある。この問題は、あらかじめ交差点、あるいは道路に制約に対する付加情報が与えられていれば、選択される経路を構成する道路の隣接関係に制約を加え、そのもとの基本問題を解くことに相当する。したがって、変形問題の定式化は、基本問題のそれとほとんど変わらない。

2.3 道路網の階層的表現

各階層に固有な情報は、それぞれのブロックのデータとして記憶される。また、各階層のデータのほかに上位層と下位層の関係(例えば、対応する地点、下位層の境界を与える幹線道路等)を表すデータが必要となる。

ブロックに含まれる道路網の表現として、グラフを用いる。ここでは、道路網に関するデータだけを考え、領域に関するデータ(例えば、建物や公園等の領域)は考えない。以下では、3章で経路の探索アルゴリズムを表すために、道路網データの表現について述べる。道路網の接続関係は、交差点をノード、道路をエッジとするグラフとなる。これを交差点隣接関係データと呼ぶ。また、道路および交差点の位置を表すデータを、それぞれ道路データ、交差点位置データと呼ぶ。具体的には、以下のようである。

(1) 交差点隣接関係データ

それぞれの交差点(番号で識別される)について、隣接交差点番号、隣接交差点までの経由道路と距離である。

(2) 交差点位置データ

交差点の位置 (X 座標, Y 座標) で, 座標系は, 交差点間の相対的な位置を定めるのに用いられる。

(3) 道路データ

道路の形状を折れ線で表現する。道路の始点 (交差点), 経由屈曲点, 終点 (交差点) からなる。

さらに, 下位層と上位層の関係を次に示す 2 種類のデータで表現する。

(4) 階層間交差点対応データ

下位層と上位層の対応している交差点の番号を表す。

(5) 階層間領域対応データ

上位層における道路で囲まれた領域と, 下位層のブロック内データとの対応関係を表す。

(2)の交差点位置, (3)の経由屈曲点などは, 3章で述べる最適経路の探索問題を解くためには不要であるが, 地図情報システムを実現する場合に経路の表示や説明のために, あるいはより複雑な経路の探索問題を解くために付与した。

3. 経路の探索アルゴリズムとその評価

ここでは, 前章で与えた問題を解くアルゴリズム, およびアルゴリズムの評価について述べる。

3.1 経路の探索アルゴリズム

はじめに, 階層化された道路網データにもとづいて前章の基本問題を解くアルゴリズムを示す。

[基本問題の解法アルゴリズム]

(入力) 出発地点と目的地点

(出力) 出発地点から目的地点への経路

(方法)

- Step 1. 出発地点および目的地点が属するブロックを各階層ごとに求める。対象レベルを最下位層にする。
- Step 2. 現在対象としているレベルにおいて, 出発地点および目的地点が同じブロックにあれば, Step 6 へ。
- Step 3. 階層間交差点対応データにより, 出発地点の属しているブロックの交差点の中で, 上位の階層の交差点にもなっている交差点をすべて求める。
- Step 4. 出発地点と Step 3 で求めた交差点との間の最短経路とその距離を, Dijkstra のアルゴリズムにより求める。これには, 出発地点の属しているブロックの交差点隣接関係

データを用いる。

- Step 5. 出発地点から Step 3 で求めた各交差点までの, Step 4 で求めた距離を長さとする仮想的な道路を設定し, これらの道路を上位層の道路網に追加する。対象レベルを上位層にして, Step 2 へ。
- Step 6. 対象レベルが最下位層ならば, Step 10 へ。
- Step 7. 対象レベルの交差点の中で, 下位層中で目的地点の属しているブロックにも含まれる交差点を求める。
- Step 8. 出発地点と Step 7 で求めた交差点との間の最短経路とその距離を Dijkstra のアルゴリズムにより求める。
- Step 9. 出発地点から Step 7 で求めた交差点までの, 仮想的な道路を設定し, 下位層の道路網に追加する。これらの道路の長さは, Step 8 で求めた距離とする。対象レベルを目的地点の含まれる下位層にして, Step 6 へ。
- Step 10. 出発地点と目的地点間の最短経路とその距離を Dijkstra のアルゴリズムを使って求める。
- Step 11. Step 10 で求めた経路に含まれている仮想的な道路を, それぞれに対応する経路に戻して得られる経路全体が求める経路である。 ■

図 2 は, 道路網を 2 段階に階層化したときに, 上のアルゴリズムを適用した例である。図 2 (a) の出発地点から目的地点までの経路を探索する。図 2 (a) の▲は, Step 3 で求めた交差点であり, Step 4 の出発地点から▲までの最短経路を求めている。図 2 (b) の▲は, Step 7 で求めた交差点であり, Step 8 の出発地点から▲までの最短経路を求めている。図 2 (c) は, Step 10 の出発地点から目的地点までの経路を求めている。

次に, 制約条件のある場合の問題の解法について考える。ここでは, 一方通行および右折禁止の制約条件について考える。ただし, 右折禁止の規制は, 幹線道路についてのみ扱う。

まず, 制約条件に関するデータを付与する。すなわち, 道路に関する属性データとして, 一方通行の方向属性を, 交差点に関する属性データとして右折禁止の属性を付与する。これらのデータが与えられると, 制約条件付き問題のアルゴリズムは, 基本問題のアルゴ

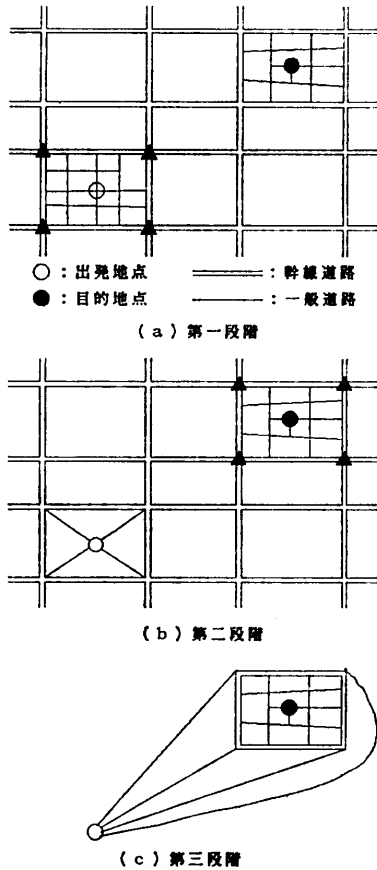


図2 最短経路の検索

Fig. 2 Retrieval of the shortest path.

リズムを修正することで得られる。ここでは、アルゴリズムの修正内容を示す。

【変形問題の解法アルゴリズム】

一方通行の制約条件問題では、基本アルゴリズムの Step 4, 8, 10 において、Dijkstra のアルゴリズムを適用するときに、道路の属性を参照して一方通行の交通規制がある場合は、その方向に道路がないものとして計算する。

また、右折禁止の制約条件問題では、中央分離帯のある幹線道路は下位層における道路の属性として、ブロック側から見て中央分離帯を越えないで走行できる車線についての一方通行属性を付与する。実際に解を求めるためには、基本問題のアルゴリズムの Step 4, 8, 10 において、Dijkstra のアルゴリズムを適用するときに、出発地点から幹線道路のある交差点までの経路が求まる。その幹線道路に中央分離帯がある場合には、隣接する交差点までの距離を求めるときに、次のようにする。一方通行禁止の方向に対しては、その交差点に最も近い右折できる交差点を調べ、その交差点

までの距離を求める。そして、その右折可能な交差点が隣接する交差点であるように扱う。 ■

3.2 アルゴリズムの評価

前節で述べたアルゴリズムの計算の手間を評価する。はじめに、図3に示すような道路網のモデルを考える。簡単のためにそれぞれの階層レベルにおける各ブロックには n 個の交差点が含まれ、 k 段階の階層化が行われているとする。また、あるレベルのブロックは、そのひとつ下位の階層のブロックを m 個含んでいるとする (n, m は階層によらないとする)。この道路網モデルで経路の探索問題を考える。Dijkstra のアルゴリズムでは、 n 個のノードのグラフで最短経路を見つけるのに必要な計算時間は $O(n^2)$ である。ここで提案したアルゴリズムでは、Dijkstra のアルゴリズムが適用される回数は最大で $(2k-1)$ 回である。それぞれの計算時間 (Dijkstra のアルゴリズムの計算時間) は、ブロック内の交差点の数が n であることから $O(n^2)$ となる。したがって、全体の計算時間は $O((2k-1)n^2) = O(n^2)$ である。一方、階層化を行わない場合には、道路網全体で交差点の数が nm^{k-1} であることから、最短経路を検索する計算時間は $O(n^2m^{2(k-1)})$ となる。

本稿で提案したアルゴリズムは、上のモデルでは道路網全体の交差点の数が増えても、 $k \ll n$ であれば、計算時間は $O(n^2)$ で変わらない。例えば、上のモデルで2段階の階層化を行い、 $m=n$ の場合、全体の交差点

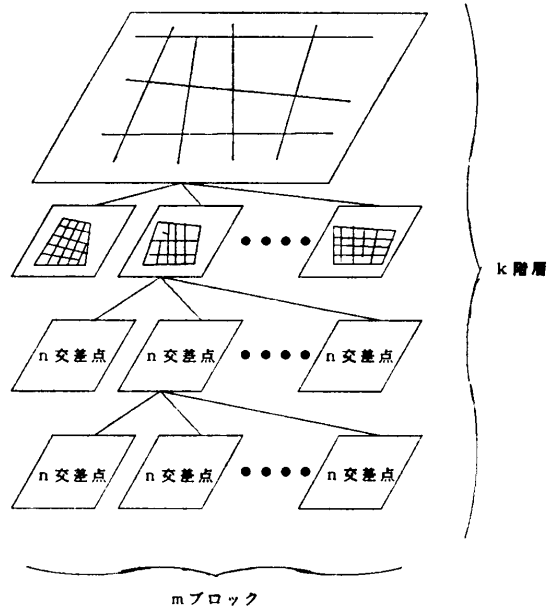


図3 道路網モデル

Fig. 3 Model of road map.

の数は、 $nm=n^2$ であるから、本アルゴリズムでは、全体の交差点の数に比例する計算時間で経路を探索できる。これは、道路網全体に対して一様に Dijkstra のアルゴリズムを適用した場合の計算時間 $O(n^4)$ に比べ、はるかに効率的である。

一方、このアルゴリズムを使って探索される経路は、Dijkstra のアルゴリズムで求められる最短経路を探索するのではなく、長距離の移動ほどより上の階層に含まれる道路を使う経路を選択する。この考え方は、一般的に人が選択する経路によく似ていると思われ、道案内のための経路を求めるのに適している。

4. 階層型モデルにもとづく地図情報システムの実現

2章、3章で述べた階層型道路網モデルにもとづいてワークステーションに実現した地図情報システムについて述べる^{9),10)}。

4.1 地図情報とその実現

2章、3章で述べた階層型道路網モデルにもとづいた地図情報システムをワークステーションに実現した。地図情報として、名古屋市千種区(約 6km×約 5km)の地図を使用した。この地図に含まれているデータは、交差点数 4701、道路数 1732、地名・施設などの数 664 である。これらのデータを2章で述べた方法に従って、2段階に階層化して表現した。上位層の幹線道路図に対して下位層は 57 枚のブロック地図で構成されている。システムの実現には、ワークステーション XEROX 1100 SIP を使用した。

このシステムでは、道路網情報のほかに地名・施設などのデータを追加している。これらのデータを用いて、道案内のための種々の地図情報をマウスによる簡単な入力とマルチウィンドウを使った分かりやすい表示により検索できる。このシステムは、さらに道路網が変化したときに、階層間の関係も含めてデータの一意性を保ってデータを更新する機能も備えている。

地図情報システムの構成を図 4 に示す。検索の場合、まずマウスよりウィンドウ管理部へ検索要求が出され、検索コマンドが選択される。次に検索コマンドが地図情報アクセス部に送られ、入力が必要な場合は入力部へ入力要求が出され、入力データを得る。検索結果は画面表示部へ送られ、表示のためのウィンドウが開かれ、ディスプレイに表示される。

システムは、Interlisp-D で記述され、プログラム・サイズは約 5000 行から成り、地図情報データが占め

るファイルの容量は約 350 kB である。

4.2 システムの機能

今回実現した地図情報システムでは、次のような情報を検索できる。

- (1) ある領域の詳しい地図の表示
- (2) 町名に対応する領域の表示
- (3) 地名・施設などの所在地の検索
- (4) 出発地点から目的地までの経路の探索
- (5) ある種類の施設(例えば、銀行、小学校など)の中で出発地点からの経路が3章で述べた意味で最適であるものの検索*
- (6) 経路の略図の表示

これらの機能のうちで、(4)と(5)に対して、前章で述べたアルゴリズムが用いられている。また、それぞれの検索に対して、交通規制に従った経路を探索するか交通規制に関係しない経路を探索するかを選ぶことができる。図 5 は、指定した出発地点から目的地までの経路を探索した例である。左上の大きいウィンドウが上位層の幹線道路全体図を表示しており、下の2つのウィンドウがそれぞれ下位層のブロック内の地図を表示している。これらの3つのウィンドウにそれぞれの階層における経路が表示され、全体の経路を知ることができる。

それぞれの検索に要する時間を、表 1 に示す。各項目に対する値は、30種類の異なるキーを指定して検索し、時間を測定した。検索時間には、表示時間およびガーベッジ・コレクションの時間は含まれていない。検索システムに登録されている建物の数は、大学6、

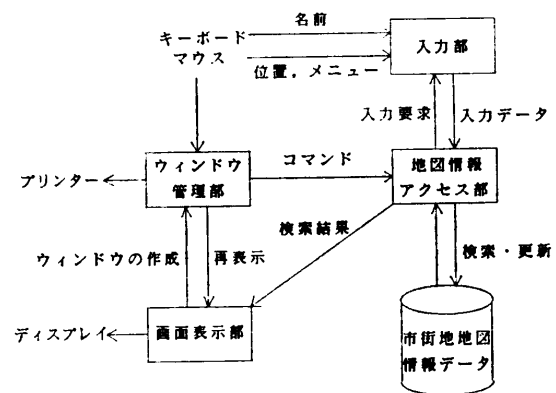


図 4 検索システムの構成
Fig. 4 System Configuration.

* 現在、このシステムでは施設の所在地で検索するのではなく、建物に最も近い交差点を求め、この交差点を使って検索する。実用化に際しては、建物が接する道路および隣接交差点をデータとして持ち、検索時にはその地点をグラフに組み込んで検索を行えばよい。

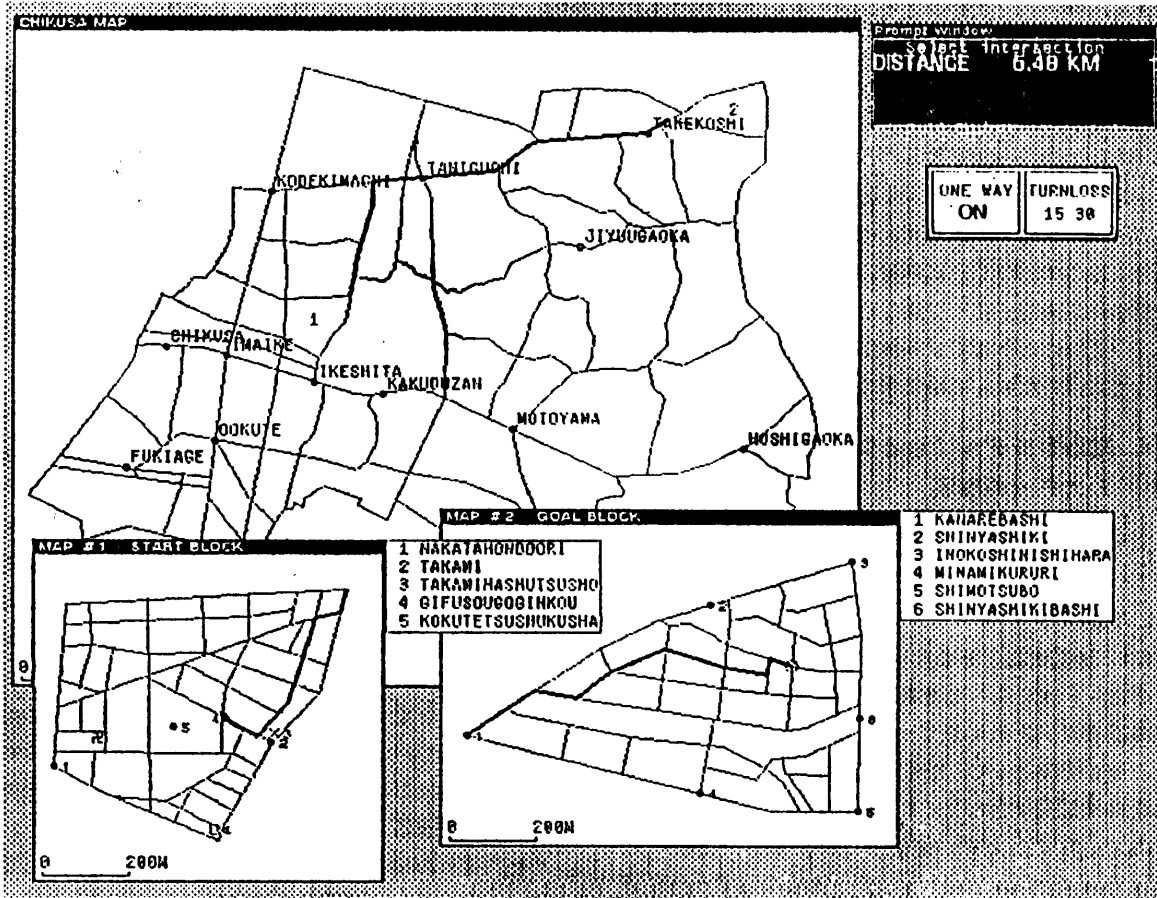


図 5 最短経路検索の例

Fig. 5 An example of retrieving the shortest path.

表 1 検索システムの応答時間

Table 1 Response times of the system.

検索コマンド	検索時間 (秒)		
	最小	最大	平均
最短経路検索	0.593	4.895	2.797
町の検索	0.022	0.117	0.053
地名・建物の検索	0.001	0.003	0.002
最寄りの建物の検索 (大学)	2.225	9.983	6.394
最寄りの建物の検索 (公園)	0.728	13.547	5.139
最寄りの建物の検索 (銀行)	0.561	12.189	3.944
最寄りの建物の検索 (派出所)	0.360	7.167	2.846

公園 23, 銀行 32, 派出所 12 である。ほとんどの検索要求に対して、数秒以内で検索することができ、実用的な応答速度を持っていると言える。最寄りの建物の検索では、その検索方法 (ある範囲内にあるものに候補を絞ってからすべての経路を検索する) の特性から、検索時間が登録されている建物の数とその散らばりに依存する。

5. あとがき

本論文では、道路網情報を階層的に記述する方法と道案内のための最適な経路を探索するために、その階層型道路網モデルにもとづく経路の探索アルゴリズムを提案した。階層型道路網モデルにもとづく経路の探索アルゴリズムは計算時間においてすぐれており、探索される経路も人が地図を見て選択する経路に似ている。また、階層型道路網モデルにもとづいてワークステーションに実現された地図情報システムでは、経路探索を十分に実用的な速度で計算することができた。

地図情報システムでは、名古屋市千種区を例として挙げたが、階層化するときの各ブロックの大きさは均一なほうがよいことや、あまり遠距離の移動に関しては距離以外の要素で経路が決まってくることを考えると、本アルゴリズムは市街地地図を使った地理不案内の人への道案内に適しており、実用的にはひとつの都市の範囲に適用することが妥当である。

この方法の問題点として、階層間にまたがる道路網データの更新問題がある。すなわち、データを更新する場合、そのデータが最下位層レベルにおけるブロック内だけの変更であるならば、データを簡単に更新できる。しかし、更新の内容が複数の階層に影響を及ぼすとき（例えば、幹線道路が新しくできた場合には、データの更新は単純ではない。最下位の階層レベル以外で道路が追加・削除された場合、更新された道路があったブロックの下位に属するすべての階層レベルのブロックに対して、データを更新する必要がある。道路が追加された場合は、対応する下位の階層レベルに属するブロックがその道路によって分割されるのでブロックを再構成しなければならない。また、道路が削除された場合は、対応する下位の階層レベルに属するブロックを併合しなければならない。特に、階層化の段階が多く、最上位の階層レベルに属する道路に対して更新がなされたときには、これらの処理はかなりの手間を要する。今回実現したシステムでは、2階層の場合について、この機能を実現しているが、より一般的な更新問題の解決は今後の課題である。

さらに、次のことがらが今後の課題として挙げられる。

- (1) 道路の混雑など動的に変化する情報をデータに取り入れ、それらの変化を含めて経路の知的探索や動的な変更ができるようにする。
- (2) 探索された経路などの情報を表示するのに、より分かりやすくするために略図や説明文などを使ってよりよいインタフェースを実現する。
- (3) 道路階層の概念を各種の交通網（鉄道、バス、航空機など）に拡張し、より汎用的な地図情報システムに応用する。

謝辞 日頃より熱心にご指導していただいている名古屋大学 渡邊豊英助教授、稲垣康善教授、鳥脇純一郎教授、ならびに大変有益なご討論をしていただいた吉田研究室の皆様へ感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 坂内正夫：地図データベース，情報処理，Vol. 27, No. 10, pp. 1153-1161 (1986).
- 2) 嶋田 茂：地図・図面情報処理におけるマルチメディアデータベース，情報処理，Vol. 28, No. 6, pp. 740-755 (1987).
- 3) 嶋田 茂，江尻正員：日本語インタフェースを有する知識処理型マルチメディア地図情報処理システム GENTLE，情報処理学会論文誌，Vol. 27,

No. 12, pp. 1162-1173 (1986).

- 4) 加藤誠巳：都市交通における最適経路情報提供システム，情報処理，Vol. 28, No. 3, pp. 307-314 (1987).
- 5) 伊理正夫監修：計算幾何学と地理情報処理，bit別冊，共立出版 (Sep. 1986).
- 6) Kobayashi, I.: *Cartographic Database, Lecture Notes in Computer Science 80* (Chang, S. K. and Fu, K. S. eds.), pp. 322-350 (1980).
- 7) Sugie, M., Menzilcioglu, O. and Kung, H. T.: *CARGuide On-board Computer for Automobile Route Guidance, National Computer Conference 1984*, pp. 695-706 (1984).
- 8) 杉本克行，加藤誠巳：有向ネットワークにおいて閉路を含まない k 個の最短経路を求めるための手法，情報処理学会論文誌，Vol. 26, No. 2, pp. 356-364 (1985).
- 9) 丹羽寿男，吉田雄二，福村晃夫：市街地地図情報の蓄積と検索，信学技報，AI 86-27 (1986).
- 10) 丹羽寿男，吉田雄二，福村晃夫：Interlisp-D による地図情報データベースの実現，情報処理学会記号処理研究会資料，88-SYM-46-2 (1988).

(平成元年5月16日受付)

(平成2年3月6日採録)



丹羽 寿男

昭和38年生。昭和60年名古屋大学工学部電気学科卒業，平成2年同大学院工学研究科情報工学専攻博士課程満了。同年松下電器産業(株)入社。在学中，市街地地図情報システムに関する研究に従事。電子情報通信学会会員。



故 吉田 雄二 (正会員)

昭和17年生。昭和40年名古屋大学工学部電子工学科卒業，昭和45年同大学院博士課程修了。昭和45年同大学助手。その後同大大型計算機センター助教授，同大工学部電気工学第二学科助教授を経て，同大工学部情報工学科教授。工学博士。気象図処理，計算機システムプログラムに関する研究に従事。電気学会，電子情報通信学会，人工知能学会，日本ソフトウェア科学会，AAAI各会員。平成元年7月20日逝去。

**福村 晃夫 (正会員)**

大正 14 年生. 昭和 24 年名古屋大学工学部電気学科卒業. 同年同大学助手. その後講師, 助教授を経て昭和 43 年教授. 昭和 56 年同大学大型計算機センター長併任. 昭和 61 年人工知能学会初代会長. 昭和 63 年中京大学教授. 工学博士. 知覚と知識の情報処理に興味をもつ. 著書「オートマトン・形式言語理論と計算論」(岩波書店) ほか. 電子情報通信学会, 日本音響学会, 日本 ME 学会, 人工知能学会各会員.
