

歩行者の好みを考慮したパーソナルナビゲーション支援システムの提案

A Proposal of a Personal Navigation Support System considering Pedestrians' Preference

●キムドンハン

蔚山大學校

Kim Don-Han

University of Ulsan

●北島宗雄

産業技術総合研究所

Kitajima Muneo

National Institute of

Advanced Industrial Science

and Technology(AIST)

● Key words: Personal Navigation System, Fuzzy Retrieval, Mental Model

要旨

移動通信技術の発展に伴い携帯用情報機器を利用して道案内や周辺情報などのサービスを歩行者に提供するナビゲーションシステムが注目されている。本論文ではファジィ理論に基づいてユーザの好みを反映させた歩行者ナビゲーション支援システムとそのユーザインタフェースを提案する。

支援システムは、目的地設定ユニット、経路探索ユニット、好み情報シミュレーションユニットから構成される。目的地検索は、目的地の好み評価に用いられたキーワード相互間の関連度をファジィ論的に定式化したキーワード結合行列を用いて行われる。これにより目的地が定まっていなかった曖昧な状況でも歩行者の好みに合う目的地を検索することができる。

さらに、出発地と目的地が同一であっても歩行者の好みによって異なる経路を探索できる方法を提案した。本論文で提案する方法により目的地検索と経路選択におけるユーザの好みを反映することができ、より満足度の高いナビゲーションが可能になると予想される。

Summary

This paper proposes an innovative navigation system and interface that supports users' emotional preferences, based on the Fuzzy sets theory.

The proposed system consists of three different units: destination search unit, route retrieval unit, and user preference simulation unit. Destination search is performed by using a keyword combination matrix that formulates the inter-relationships between image measuring items on the destination based on the Fuzzy sets theory. The system enables pedestrians to make a navigation and fulfill their emotional needs even when the destination is not clearly defined.

By using Fuzzy sets theory, this paper also presents a solution to support the pedestrian's emotional preference by offering a set of different routes for the same destination. The navigation system allows users to experience more satisfying navigation by adding individual users' emotional needs to their destination and route finding tasks.

1. はじめに

近年、移動通信技術の発展により、携帯電話やPDA(Personal Digital Assistant)に代表される個人携帯用情報機器が普及している。これに伴い、携帯用の情報機器を利用してユーザの行動を支援するための情報サービスに注目が集まりつつある。中でもGPS(Global Positioning System)から取得した位置データを利用して道案内や現位置の周辺情報などを歩行者に提供する歩行者ナビゲーションシステムへの期待は大きい。実際、KDDI社のeznavigation[注1]や、NTT DoCoMo社のiエリア[注2]など、すでに提供されているサービスもあるが、これは、歩行者ナビゲーションに対する期待の高さを示していると言える。

一方で、GPSデータを利用した歩行者ナビゲーションについては、多くの研究がなされている。代表的な研究として、歩行者の検索要求をもとにして具体的な目的地を推論する、情報検索を対象とした研究[注3]、不特定の複数地点を経由した経路を遺伝的アルゴリズムを用いて探索する、最適経路探索を対象とした研究[注4]、携帯電話を用いた経路誘導におけるナビゲーション情報を提供する、ヒューマンインタフェースを対象とした研究[注5]などがある。

しかし、これらの歩行者ナビゲーションに関するサービスや研究では、歩行者の状況やナビゲーション環境に対する情報を考慮した上で、あいまいな目的地要求を許容したり、経路に対する好みを考慮したりする支援はまだなされていない。前者については、歩行者は最初から特定の場所を目的地として指定することもあるが、状況によっては移動する目的は存在するものの目的地が具体的に決まっていない場合がある。たとえば、繁華街などの商業施設では「食事をしたい」、「服を買いたい」などの目的がはっきりしているものの、そのためどこに行くかが決まっていない場合がある。後者については、歩行者は沿道の建物の外観や道路などの外界の状態から何らかの印象を感じとりながら、移動するのであるから、同じ目的地に到達するにしても、取った経路が好みに合っている場合とそうでない場合がある。実際、取った経路に応じて移動の満足度が異なることが知られている[注6-7]。

特に、観光やウィンドウショッピングのように目的地への到達よりも街の景観や店の雰囲気を楽しもうとする歩行者に

としては、従来の最短距離経路のみの道案内ではなく、歩行者個人の目的地や経路への好みを取り入れたよりきめ細かいナビゲーション支援が必要である。

このような背景を踏まえて、本研究では、歩行者個人の持っている好み情報を元に使用者の要求を満たす情報を探索し提供することによって、ナビゲーションの不具合を改善できる行動提案的な機能を備えたナビゲーションシステムの構築を目指す。

本研究の最終目標は、歩行者からのあいまいな目的地要求に対して、ナビゲーションの対象となる実在環境に関する情報と歩行者個人の持っている好みに関する情報を元に歩行者自身の状況や好みに合う目的地と経路を探索し、その結果を使用者・システム間のインタラクションを通じて使用者に提供することによって、最終目的地への移動プロセスを最適に支援するシステムを開発することである。このシステムの大きな特徴は、歩行者がナビゲーション環境に対して持っている知識がシステムに十分に蓄積されていない場合であっても、ナビゲーション過程で利用された歩行者の好みデータを蓄積することによって、より精度を上げたナビゲーション支援が可能となることにある。

2. パーソナルナビゲーションにおける感性的な要因

2項では、まず、人の移動プロセスの中にはどのような認知的活動が行われているのかを明らかにし、次に、歩行者の好み情報を考慮することによってナビゲーションの質がどのように向上するかを述べる。最後に歩行者の好み情報を反映したナビゲーションシステムが支援しなければならない事柄について議論する。

2.1. 人の移動プロセスとメンタルモデル

ある場所から他の場所に移動すること、すなわちナビゲーションは、人間の生活の中で日常的に行われる行為である。そうした人の移動は、目的や意図に基づいて行われる問題解決プロセスであり、目的を達成するためのタスク遂行過程でもある。このような人の移動活動を、「問題を解決して行くプロセス」という観点から見ると、人の移動は、目標生成 → 目的地設定 → 経路探索 → アクション実行 → ナビゲーション評価の過程を繰り返す循環的プロセスとして捉えることができる。移動プロセスの各段階ではその場で必要とされるタスク及びそれに関する評価が行われ、その結果は、次の段階に進む判断の材料として利用される。以下に、人の移動プロセスの中で行われるタスクの内容について詳しく述べる。

まず、最初の目標設定の段階では、実現したい目標や意図を生成するタスクが行われる。一般的にナビゲーションの目標はショッピング、旅行、食事など、様々なであり、歩行者は自分の置かれた状況の中から達成すべき目標を設定する。ナビゲーションの目標には幾つかの抽象度があり、それは歩行者の状

況や好みによって変わる。たとえば、衣類のショッピングの場合、抽象度のもっとも高い「衣類」から→「上衣」→「スーツ」→「ブランド名」までのレベルがある。このようなナビゲーション目標のレベルは歩行者の持っている知識の内容によって決まる。歩行者が意図する目標の抽象度のレベルは目的地設定の段階に大きな影響を及ぼす。次の目的地設定の段階では、目標を具体的に実現するための目的地探索に関するタスクが行われる。目的地は目標や意図の抽象度のレベルによって、最初から特定の場所が指定される場合と具体的に定まっていないあいまいな場合がある。この段階では目的地までの時間情報、位置情報、目的地自体に付随する情報（店舗、商品など）が必要とされる。特に、好みが重視されるナビゲーションの場合は、歩行者が目的地自体に付随する情報に対して持つ感性的要求が目的地を決める要因となる。

続く、経路の具体化段階では、定めた目的地へと適切に移動するための経路探索タスクが行われる。歩行者は経路において、建物の外観や道路の形態などの外界の景観から何らかの印象を受けながら移動する。したがって、経路に関して歩行者が持っている景観や風景などに関する好みは経路の具体化に影響する。

さらに、経路情報に基づいて実際に物理空間を移動するタスクが行われる。この段階では、歩行者は時々刻々変化する外界の状態を、意識の表象に存在する経験や出来事に対応したイメージにマッチングさせながら、目的地に向けて移動する。歩行者はそれらのイメージを利用して、移動に伴う環境の変化を予測したり、次の行動をプランニングしたりする。

最後に、人はナビゲーションアクションを実行した状態を知覚し、解釈し、目標と照らしてナビゲーションの達成を評価するタスクを行う。歩行者は移動した結果がナビゲーション目標として達成可能でかつ自分の意図に適合していれば行動を終えるが、そうでない場合は、適切な段階にまでさかのぼって以上のプロセスを繰り返すことになる。

さて、人は各移動タスクを行うために頭の中で様々な情報を処理している。まず、感覚器官を通して入力された膨大な情報の中から何らかの意味を抽出し、次に過去の記憶に存在する既有知識と照合して新たな意味構造を構成し、それに基づいて適切な行為を決定する。そして必要ならばそれを新たな知識として貯蔵する。

本論文では、このように歩行者が入力される情報の中から新たな意味構造を抽出するために活性化させる既有知識の枠組みをスキーマ(Schema)と定義する。スキーマは上位、下位のスキーマと階層的な関係によって結びついており、これらの中には継承関係があるとされている[注 8]。スキーマは、入力情報の中に何らかの特徴が検出されたとき、それに関連すると想定されるものが呼び出される。

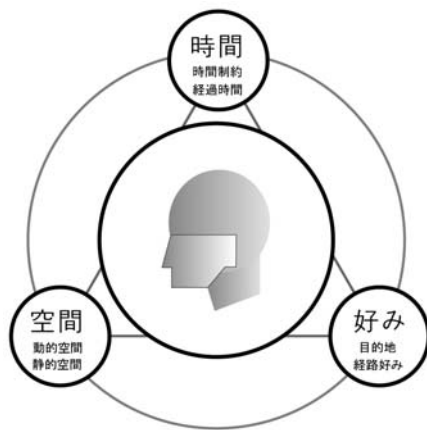


図 1 ナビゲーションスキーマの構造

人の移動に関連したスキーマの構築に利用される外界の情報としては次のようなものがある[注9]。

- (1) 移動支援情報：ナビゲーションを支援するために作られた情報。地図や標識、マニュアルなどがある。
- (2) 環境情報：ナビゲーションが行われる環境自体のもつ情報。目的地、道路や町の形状、地形、人や車の流れや道の込みぐあいなどがある。
- (3) 他者情報：他者が与える情報。通行人に道を教えてもらうなどである。

一方、歩行者は呼び出されたスキーマを用いて頭の中でシミュレーションを行い最終的にナビゲーション実行のための「移動方略」を生成する。本論文ではこのような移動方略を認知科学の分野で一般的に定義されているメンタルモデル(Mental Model)[注 10]と同一のものと見なし、議論を進める。歩行者は、ナビゲーションに関するスキーマを、図 1 のような時間、空間、好みの 3 つの特性を持つ知識として頭の中に構造化して保持していると思われる。まず、時間特性にはナビゲーションに与えられた時間的制約条件、目的地までの経過時間などが含まれる。そして、空間特性は静的空間と動的空間特性に分類される。静的空間特性には歩行者の位置情報、目的地までの移動距離情報、目標物の持つ情報などが、動的空間情報には人や自動車の流れ、交通の込み具合などが含まれる。最後に、好み特性には目的地や経路に対して抱く歩行者の印象や選好度に関する情報が含まれる。

しかし、これらの特性は独立的に利用されるのではなく、歩行者の移動プロセスの中で行われるタスクの内容に合わせて互いに密接に関連し合いながら活性化されると考えられる。

2.2. 移動に関する好みとナビゲーションの満足度

人の移動プロセスの中では、2.1 に述べたような認知的活動が行われるが、その各局面において歩行者の好みに関する情報が大きく関与している。

移動環境に対して歩行者の持つ好みはナビゲーションの最終的な質的満足度を決める重要な要因である。歩行者が、好みを重視するほど、また、適切な既有知識をもっているほど、ナビゲーションに関するメンタルモデルは早い段階で作られ、その結果、全体としてより満足度の高いナビゲーションを容易に達成できるようになると考えられる。一方、好みに関する重視度

が高くても、既有知識が不足している場合は、メンタルモデルを早い段階で生成することができない。その結果、十分に満足できるナビゲーションを達成することは難しくなると考えられる。以下では、この考察に基づいて、人の移動プロセスに関与する好みを、目的地に対しての好みと、経路に対しての好みの二つに分け、これらがナビゲーションの満足度に及ぼす影響について述べる。

まず、歩行者が目的地を指定する場合、目標の抽象レベルによって最初から特定の場所を指定する場合もあるが、移動する目的は存在するものの目的地が具体的に定まっていない場合もある。たとえば、商業施設が密集している繁華街などの地域で、「さっぱりした味の食事をしたい」、「カジュアル風の服を買いたい」のような抽象度の高いナビゲーションを行う場合は、目標に対する好みははっきりしているもののそのためにどこに行けばよいのかが分からない場合がある。

このように目的地があいまいであるということは、ナビゲーション環境に対して歩行者の持っている既有知識が不足しているためメンタルモデルが不十分な状態にあることを意味する。つまり、歩行者は「わからない」という状態にあり、あいまいな目的地しか設定できない。その反面、目標への具体性が高い場合は、目的地に対する適切なメンタルモデルを生成することができるので、正しく最適目的地へと絞り込むことができる。

次に、人は経路探索行動において、実在環境に関連した情報を内的表象として参照しており、このような内的表象は画像や図形のような「イメージ」の形をとって現れる。この頭の中に存在する「イメージ」を認知地図(Cognitive Map)[注 11]という。認知地図は都市工学者ケビン・リンチ(K. Lynch)が、都市の基本構成要素として提案したものであるが、以下の 5 つに分類される。

- (1) パス(path)：人間が通ることのできる道筋。道路、鉄道、橋、廊下などがある。
- (2) ノード(node)：人間が入り込むことのできるパスにつながっている空間の場所。交差点、駅、空港、広場などがある。
- (3) ランドマーク(landmark)：考察中の認知地図において、移動の目印になるもの。看板、建物、公園、駅などがある。
- (4) エッジ(edge)：考察中の認知地図において、人がその線を越えて移動しないもの。海岸線、壁、川岸などがある。
- (5) ディストリクト(district)：独特の特徴がその中に共通してみられる比較的大きな領域。市の中心部(中華街、秋葉原、紀伊半島など)を意味する。

認知地図は、方向の把握や目的地までの距離の推定など、ナビゲーションにおける空間と関連したタスクと密接に関わっている。歩行者は経路設定において、この認知地図の構成要素を利用しており、歩行者の頭の中にこれらの要素を用いた認知

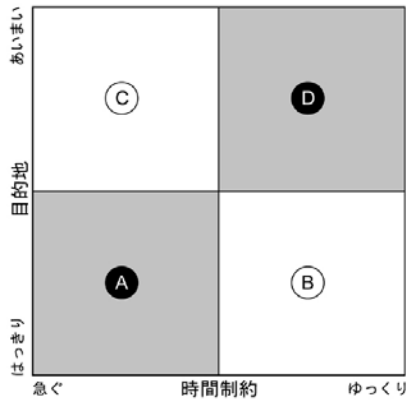


図 2 制約条件によるナビゲーション類型

地図が既知知識として構造化されている。

歩行者は最終目的地までの経路を探索する際、まず、細かなパスを想定し、そのパスを組み合わせることで全体の経路を構成していると思われる。したがって歩行者が最終目的地まで移動する経路は少なくとも $N > 1$ 以上のパスとして構成され、移動プロセスも複数のパスを連続的に辿って行くような形式になる。歩行者は定められた経路に沿って移動しながら方向を転換する地点を一時的な中間目的地に設定し、この中間目的地に到達した後、次の中間目的地を設定する。

したがって、歩行者は経路選択における認知地図に対応した実在環境要素の外観や形態に対しての好みを持っているので、目的地は同じであっても、自分の好みに合った経路を選択した場合とそうでない場合で、移動の満足度は異なるはずである。経路選択において歩行者の好みに関する既知知識が豊富で、かつ適切であれば、メンタルモデルを早い段階で作ることができるので自分の好みの経路に沿って効率よく移動することができる。結果的に移動プロセスの各局面が促進されるのでナビゲーション全体の満足度も高くなる。

2.3. ナビゲーション支援情報の性質

歩行者のナビゲーションは様々な制約条件の下で行われる。この制約条件から目的地や経路が規定されたり、その中で遂行されるタスクの内容も変化したりする。したがってナビゲーションにおいて活性化されるメンタルモデルも制約条件に大きく依存する。ここでは歩行者がこのような制約条件から選択する移動プロセスの特徴と、メンタルモデルの不十分さから来るナビゲーションの不具合を改善するために必要な支援情報の性質について述べる。

ナビゲーションの制約条件には目的地のあいまいさ、時間的制約があり、歩行者の選択する移動プロセスはこのような制約条件によって4つのパターンに分類することができる(図2)。

まず、目的地が最初からはっきりしていて、しかも時間的制約が大きく、急いでいる場合は最短経路でナビゲーションする(A)。この際、ナビゲーションプロセスは手続的となり迅速さが求められる。それに対して目的地が最初からはっきりしていても、時間的制約がなくゆっくりとしたナビゲーションの場合、歩行者は好みを考慮することができる。この場合は、同一の目的地であっても異なる経路に対する好みを反映したナビゲーションが行われる可能性がある(B)。一方、目的地はあいまいで

あるが時間的な制約が大きい場合、歩行者は移動中に目標の達成にふさわしい地点が見つかるとその段階でナビゲーションの目的が達成されたと思なし移動プロセスを終了する(C)。しかし、目的地があいまいで、かつ時間的な制約がない場合、歩行者は好みをより重視した経路選択を行う(D)。このように歩行者の置かれた状況によって歩行者が選択するナビゲーション類型も変化するので、ナビゲーションの方略も類型ごとに異なったものとなる。

前述したように、人は外界から得られた情報をもとに作成されたメンタルモデルを実行しながら、現在の状態と次に進むべき方向を判断していると考えられる。ここで、選択肢として生成される「実行可能なメンタルモデル」が豊富であればあるほど、異なる状況への対処やあいまい性の解消ができるので、結果的に移動プロセスの各局面が促進され、ナビゲーション全体の効率性と満足度が高くなると考えられる。

反対に、メンタルモデルが不十分か早い段階で作れない場合には、当該のタスクに関する部分だけではなく、ナビゲーション全体に対する不信感が生まれてしまう。このとき、歩行者は、メンタルモデルを作成するために必要な情報を外界からうまく引き出せないという状況にある。原因として、目的地や経路が見つからずにはわからなくなってしまった場合、現在の居場所があっているかがわからない場合などが考えられる。その結果、ナビゲーションの満足度が著しく減退するか、最悪の場合には移動不能の状態に陥ってしまう。

歩行者の選択するナビゲーションの部分もしくは全体がスムーズに進行されるためには、歩行者の情報利用特性を考慮してメンタルモデルを補うか、もしくは素早く再構築できる支援情報を提供する必要がある。

3. あいまい性を許容した好み情報の検索

本論文で提案するナビゲーション支援システムの目的は、歩行者が頭の中からナビゲーションに必要とする情報をうまく引き出せない状況、つまり目的地や経路の選択ができない状況に陥った場合、歩行者の置かれた状況や好みに関する情報を利用して適切な目的地と経路を探索し、有効なナビゲーション情報として提供することである。これによってメンタルモデルの不十分さを補うことができ、ナビゲーションの不具合が改善されると予想される。一方、前述したように人の移動プロセスに関する好み情報には目的地に対しての好みと経路に対しての好みがあり、これらの情報には多くのあいまい性が含まれている。したがって、歩行者の好みを反映したナビゲーション情報を適切に提供するためには、あいまいなデータを対象とした検索方法が必要である。そこで、本項では歩行者のあいまいなナビゲーション要求情報をファジィ論的に定式化することによって、

あいまいな目的地や経路が検索できるファジィデータ検索法[注12]について説明する。

3.1. ファジィ検索システムの枠組み

一般的に、検索システムは検索対象集合、キーワード集合、索引の3つで構成される。検索は、ユーザの検索要求をキーワード（検索語）で与え、索引語と検索語の一致から検索結果を求める。ここで索引語と検索語の関係はクリスプ集合に基づいているため、検索結果は検索語を索引として持っているデータだけが求められる。しかし、現実には検索条件に部分的に一致する検索対象もあり、検索対象が検索条件に一致するかしないかという二分法によって検索結果をクリスプ集合と限定するのは問題がある。特に、本論文で扱う検索対象のように多くのあいまいさが含まれている場合は、クリスプ集合に基づいた検索方法によってユーザの期待に答えるのは難しい。

そこで、本論文では、検索結果がファジィ集合として与えられるデータ検索方法を採用する。この方法は、検索結果において各データに検索条件への一致度を示す $[0, 1]$ の範囲でのグレード（メンバーシップ値）が与えられる。検索者はその値を検索条件に対する満足度として解釈でき、このグレードを利用して、効率的に必要なデータを探し出すことが可能となる。

3.2. キーワード間のファジィ関係の表現

通常、キーワードを用いた検索システムでは複数のキーワード間の関連性を記述した「シソーラス」と呼ばれるキーワード結合行列が利用される。本論文では、目的地と経路に対する歩行者の好みを検索結果に反映できるようにキーワード間の関連性を $[0, 1]$ 範囲のファジィ行列と見なしている。この行列は、「二つのキーワードが同じ検索データに同時に現れる頻度が大きくなるほどこれらのキーワードは相互間に関連性が高い」[注13]という経験的な規則に基づいて作成される。式(1)はこの考え方をと、キーワード間の関連度を具体的に算出する式である。ここでキーワード結合行列を W とすると W はキーワード集合 K の直積におけるファジィ関係を意味する。

$$W : K \times K \rightarrow [0, 1]$$

$$W_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_i + N_j - N_{ij}} \quad (式1)$$

ただし、 N_i 、 N_j は k_i 、 k_j をキーワードとして持つ検索対象の数を、 N_{ij} は k_i 、 k_j を同時にキーワードとして持っている検索対象の数を表している。この式を用いてキーワード相互間のファジィ的な関係が表現された結合行列を簡単に作成することができる。

3.3. 検索候補のファジィグレードの算出

ここでは、キーワード結合行列を用いてファジィ検索結果を算出する過程を説明する。ファジィ検索システムは検索対象集合 D 、キーワード集合 K 、ファジィ索引 f で構成される。以下

では、検索対象は d または d_i に、各キーワードは k または k_i のように表す。

まず、検索キーワードに関するファジィ集合と、検索対象に関するファジィ集合を求める。ここでは索引関係がもっとも強い場合を1、ない場合を0と見なす。検索対象集合とキーワード集合間の直積におけるファジィ関係は次のように表す。

$$\cdot \text{ファジィ索引} : F$$

$$F : D \times K \rightarrow [0, 1] \quad (式2)$$

そして、ある検索対象 d に与えられているキーワードのファジィ集合は次のように表現される。

$$d = \sum_{k \in K} F(d, k) / k \quad (式3)$$

また、その逆のあるキーワード k が与える検索対象の集合は以下の式に表現される。

$$k = \sum_{d \in D} F(d, k) / d \quad (式4)$$

次に、クリスプ索引からファジィ索引を生成する方法を説明する。各検索対象 d_i には索引関係から付与されるキーワードの集合 $\phi(d_i)$ が存在する。また、各キーワードにはキーワード結合行列により関連付けられたキーワードのファジィ集合 v_l 、 v_m 、 v_n があるとすると、これを利用して検索対象とキーワード間の関係を索引関係から直接関連されたものからキーワード結合行列により間接的に生成されるものまで拡張する。すなわち、 d_i と直接索引関係のないキーワード k_j に対しても W_{mj} 、 W_{nj} を媒介にして索引関係を認める。このようにキーワード間の関連性がファジィ関係になるためその結果生成される索引関係もファジィ索引となる。

以上のような考えに基づいた検索条件に対する検索対象のファジィグレードは次の過程を経て算出される。キーワード k_l に対してキーワード結合行列から与えられたキーワードのファジィ集合を v_l にすると v_l は次のように定義される。

$$v_l = \sum_{k_j \in K} W_{lj} / k_j \quad (式5)$$

この v_l を用いてキーワード結合行列によりデータ d_i を索引とするキーワードのファジィ集合 d_i は次のように定義される。

$$d_i = \sum_{k_j \in \phi(d_i)} v_l \quad (式6)$$

この式から d_i において各検索候補の最終的なファジィグレードは次のように求められる。

$$\mu_{(d_i)}(k_j) = 1 - \prod_{k_l \in \phi(d_i)} (1 - W_{li}) \quad (式7)$$

4. パーソナルナビゲーション支援システム

ここでは、前項で述べた、あいまい性を許容した好み情報



図 3 目的地要求情報入力画面

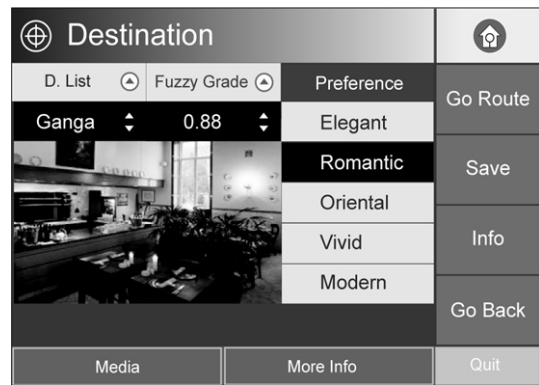


図 4 目的地検索結果出力画面

の検索方法の考え方に基づいて構成したプロトタイプシステムについて述べる。システムはPDA端末上で実行されるクライアントモジュールとインターネットに接続されたナビゲーションサーバーモジュールから構成される。サーバーモジュールは、ウェブサーバーの一般的なモバイルソフト開発環境であるJava Servletとして実装される。したがってウェブブラウザを利用すればナビゲーション支援システムを汎用のPDA端末から容易に利用できる環境となる。

まず、支援システムは、歩行者の目的地設定にあいまい性のあること、および、移動経路に好みのあることを考慮した上で、構築されなければならない。特に、好みが重視されるナビゲーションにおいては、歩行者がナビゲーションに必要な情報をうまく引き出せない場合、好みに関する情報を利用して適切な目的地と経路を探索することでナビゲーションの不具合の改善を行う必要がある。さらに、実使用でのシステムの有効性を考慮して、歩行者のナビゲーション状況に依存する時間制約情報、実在環境に対応した空間情報、好みに関する探索履歴情報などをスキーマとして蓄積し、歩行者の要望があったときに効率的に提供しなければならない。そして、検索された情報を用いてメンタルモデルの生成を円滑にするためのシミュレーション機能が要求される。最後に、システムは目的地と経路検索の際、歩行者が検索語として用いたキーワード間の結合行列を学習することによって、歩行者個人に特化されたスキーマとして再構築することが重要となる。

そこで、感性的に満足に行くナビゲーション支援の為にシステムに要請される事柄として、以下の事項があげられる：

- (1) あいまいに表現された目的地検索機能。
- (2) 歩行者の状況と経路に対する好みを考慮した経路探索機能。
- (3) ナビゲーション支援情報の収集機能。
- (4) 歩行者メンタルモデル生成のためのシミュレーション機能。

以上のような機能を実行するプロトタイプシステムは目的地検索ユニット、経路探索ユニット、ナビゲーション情報管理ユニット、シミュレーションユニットとして構築される。

この項では、支援システムの主要機能である目的地検索、経路探索、ナビゲーション情報のシミュレーションのために歩行者用ユーザインタフェースが備えるべき要件とそれに基づいて構成されたプロトタイプ画面について述べる。

4.1. 目的地検索ユニット

歩行者によって与えられた目的地要求情報がナビゲーション

サーバーに転送されるとサーバーは歩行者の好みに合う目的地を検索して歩行者用端末の出力インタフェースに表示する。歩行者は図3のインタフェースを利用して目的地検索に必要な要求情報を入力する。検索過程は検索カテゴリ指定 → 好み属性指定 → 検索条件指定 → 検索実行の順に行われる。

まず、歩行者は PDA 端末上の入力インタフェースから提示されるショッピング、食事、観光などのカテゴリの中からナビゲーション目的にもっともふさわしいと思われるカテゴリとその下位レベルを指定する。本論文ではカテゴリのレベルをクラスという概念で表現する。クラス間の関係は上位に行くほど、より抽象的な概念を表すノードになっている。たとえば、食事の場合には、食事 — 和食 — 刺身 — 回転寿司のようなレベルに分解されるが、最終的に選択されるレベルは目的地に対して保持しているスキーマの状態によって決まる。下位レベルの知識が活性化されるほど、歩行者はナビゲーションに関してより詳細なメンタルモデルを生成することができる。次に、カテゴリレベルの指定の後、好み属性を設定する。好み属性は歩行者が目的地に対して持っている好みを「さっぱりした」、「おしゃれ」などの形容語として表現したものである。この好み属性は目的地の特性ごとに構築され、目的地検索の際、検索キーワードとして利用される。歩行者は自分の好みに合う形容語を単数もしくは複数に指定して検索することができる。

さらに、ナビゲーションが許容される状況の中からもっとも満足度の高い検索結果を生成するために検索条件の指定が行われる。具体的には、目的地検索一致度（ファジィグレード）、時間制約、移動距離指定の順に行われる。検索一致度は、目的地候補に対しての歩行者の好みを満足させる度合いとして [0, 1] の範囲で指定される。時間制約は、ナビゲーションが許容される時間的範囲として、「急ぐ」から「急がない」の間を 10 分単位で設定することができる。距離条件は、時間制約を考慮してナビゲーションが可能な物理的距離として、歩行者の現在位置を中心に最大領域が設定される。時間と距離範囲の設定は中立的位置に初期値として設定したスライダー (neutral external anchor) を動かすことで行われる。

最後に、検索条件の指定が完了したら、サーバーは歩行者からの入力情報とデータベースに蓄積されている好みデータをもとに目的地候補を生成する。ここでの好みデータはあらかじめ一定の被験者グループから応答してもらった集団データをもとに作成される。このデータは式(1)により検索キーワード間の

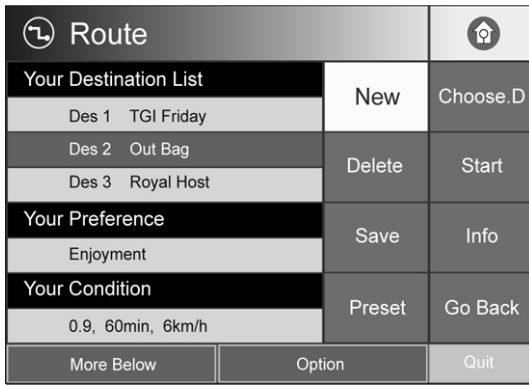


図 5 経路探索要求情報入力画面

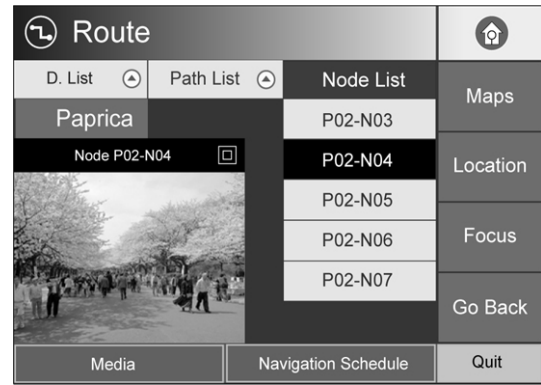


図 6 経路探索情報出力画面

関連度結合行列が計算されファジィソーラスとしてすでにサーバーに蓄積されているものとする。ファジィソーラスは検索結果に対する歩行者のフィードバック情報が蓄積するにしたがって歩行者個人の好みデータとして更新されて行く。サーバーは最終的に式(7)を用いすべての目的地に対する検索満足度を算出する。前述したように目的地と検索キーワード間の関係がキーワード結合行列により間接的な部分まで拡張されるので結果としてファジィ検索結果が得られる。検索結果は、満足度、時間条件、移動距離条件を満足する目的地候補に絞り込まれて歩行者用端末に提示される(図4)。

4.2. 経路探索ユニット

あいまいな要求を満足させる目的地が具体的に定められたら歩行者は図5のインタフェースを利用して目的地までの経路探索に必要な情報を入力する。入力操作は出発地および最終目的地設定 → 好み属性指定 → 探索条件指定 → 探索実行の順に行われる。

まず、歩行者は出発地点・時刻と到着地点・時刻を入力する。ここで、目的地はカーナビゲーションのように単一ではなく、ナビゲーション状況や探索条件によって複数存在する場合もある。目的地が単一の場合、サーバーは出発地と目的地の間を結ぶ経路のうち歩行者の好みをもっとも満足させる経路を探索する。その反面、目的地が複数の場合は、目的地候補の中から与えられたナビゲーション制約条件を満たし、かつ、もっとも満足度が高くなる目的地の集合とそれらを巡回する経路を探索する。次に、歩行者の好みを反映するための好み属性指定操作が行われる。好み属性は歩行者が経路に対して持っている好みを「快適性」「安全性」「にぎやか」などの属性として表現したもので、これは経路探索の際、探索キーワードとなる。歩行者は自分の好みに合う好み属性を単数もしくは複数指定することができる。さらに、好み属性が選択されたらナビゲーション状況を考慮して探索制約条件を設定する。歩行者の探索制約条件には、最終目的地までの総経過時間の他に、目的地間の距離と歩行者の移動速度、各目的地での滞在希望時間などがある。歩行者の移動速度は歩行者の移動能力に合わせて(たとえば成人男性なら6 km/h)指定される。他に探索結果としての各経路候補の検索一致度(ファジィグレード)を[0, 1]の範囲で指定する。この一致度を調整することで探索候補の数が調整される。経路探索のための入力操作が完了したら、サーバーは歩行者からの要求情報とサーバーにプリセットされているすべての経路

に対する好み評価データをもとに集団の好みを表す経路候補を生成する。ここでの好みデータも目的地検索の場合と同様に一定の被験者グループから応答してもらった集団データをもとに作成される。このデータは式(1)により探索キーワード間の関連度結合行列として計算されファジィソーラス形式にサーバーに蓄積されている。このファジィソーラスは探索を重ねるにしたがって歩行者個人の好みデータとして更新される。

最後に、サーバーは歩行者からの経路探索要求情報を受け取って経路探索エンジンを駆動し、事前に評定されている集団の好みデータをもとにすべての経路に対する検索一致度を式(7)により計算する。目的地検索と同様に経路とキーワード間の関係をキーワード結合行列によりファジィ検索結果が得られる。検索結果は使用者の検索ニーズが反映されるように検索一致度順に提示される。目的地が複数の場合、優先度を考慮し、経由できる目的地数を調整した巡回及び到着・出発予定時刻を含むナビゲーションスケジュールが表示される。図6はこのような経路探索結果を出力するインタフェース画面の一部である。

4.3. シミュレーションユニット

人は、過去のイベントや出来事を思い出すときに、一般化された知識構造であるスキーマを呼び出し、その中から関連のある文脈を再構成して、イベント自身を想起したり、そのイベントに関わる情報を検索したりと言われている[注14]。ここでの文脈とは、ナビゲーションの中で時系列に起こったイベントや検索履歴の順番を意味する。シミュレートユニットでは、歩行者がナビゲーションと関連したイベントを想起したり、情報を見つける必要があるとき、想起や検索に不可欠な文脈情報を構成することを支援する。これにより、歩行者が必要とする情報ばかりでなく、必要性に気づいていない詳細な情報も提供することができる。サーバーは、以上のような機能を実現するために歩行者のナビゲーション過程の中で発生した様々な情報を外在化された記憶スキーマとして蓄積する。図7は歩行者の要望に応じて情報をシミュレートするためのインタフェース画面の一部である。

一方、前述したように、歩行者のメンタルモデルの生成に利用される記憶スキーマには時間、空間、好みに関する情報があり、これらの情報はユーザプロフィールと共に一つの組みとしてサーバに格納される。ユーザプロフィールは歩行者のID、性別、年齢、職業などの情報として、時間と空間情報は目的地及び経路探索過程での入力・出力情報の履歴として格納される。

Simulation			
Date	Destination	Content	Context
12 Feb '06			Context
19 Dec '05			
29 Nov '05			Subject
10 Oct '05			
20 Sep '05			Event
12 Aug '05			
01 Jul '05			Preference
More Below		Scheme View	

図 7 ナビゲーション情報シミュレーション画面

そして、好み情報は目的地と経路選択に関する好み情報として構成される。目的地と関連した好み情報は検索を行った日付と時間、選択された検索カテゴリ情報、検索キーワードの好み属性、時間と移動距離に関する検索条件情報、最終的に選択された目的地情報などとして格納される。経路と関連した好み情報は経路探索操作を行った日付と時間、好み属性、探索条件情報、探索スケジュール情報、経路情報などとして格納される。最初のユーザ好み情報はプリセットデータとして一定の被験者を用いた好み実験から収集したデータを用いることになる。このデータは新しく入力する歩行者のデータか重なるにつれて更新され精度を上げたナビゲーションデータとして蓄積される。

歩行者は、これらの外在化された記憶スキーマとして情報をナビゲーション状況に応じてシミュレートすることによって、ナビゲーション実行のためのメンタルモデルの生成を促進することができる。

5. 結論

本論文では、好み情報を取り扱うパーソナルナビゲーションシステムの構築の第一歩として、ナビゲーション情報の探索にユーザの好みを反映させる手法及びそれに基づいたプロトタイプシステムの提案を行った。本論文で提案したナビゲーション支援システム構築方法の特徴をまとめると次のようになる。

- (1) 好みが重視されるナビゲーション状況において、歩行者が移動環境に対する適切な既知知識をもっていなくても、本論文で提案した情報探索方法を利用することによって、メンタルモデルの不十分さを早い段階で補うことができる。
- (2) 検索キーワード語相互間の関連度結合行列をファジィ化することによって歩行者の好みを反映した経路の探索ができ、より感性的に満足度の高いナビゲーションが期待できる。
- (3) 検索モデルの挙動をみるために幾つかのナビゲーション例を取り上げてシミュレーションを行った結果、検索者の好みに対する要望に答えられる検索結果が得られ、あいまいさを許容する検索方法としての利点が得られた。
- (4) 歩行者のナビゲーション遂行過程の中で発生する歩行者の好みに関する情報を収集、スキーマとして再構築し、歩行者の要望があったときに素早く照会することができる。

本システムを発展させるために今後考慮しなければならない事柄について述べる。まず、システムを使用していく中で徐々にユーザの好みを学習し、歩行者個人に対応したスキーマとし

て構築する手法の開発が必要である。もう一つの課題は、本論文で提案した方法が有望であるという感触はつかめたが、今後は、最終的な実用化と関連して、実証的にそれを確かめていく必要がある。それには、実働システムを用いたユーザの好みに対する質的満足度の実証的な検証、歩行者の出来上がったメンタルモデルに沿ったナビゲーション情報の提示方略、歩行者のメンタルモデルのレベルや認知行動特性に合わせた認知地図の表示方法とシステム・ユーザ間のインタラクションの形式に関する研究などが含まれる。

“This work was supported by University of Ulsan Research Fund of 2004”

注および参考文献

- 1) http://www.au.kddi.com/ezweb/service/ez_naviwalk/index.html
- 2) http://www.nttdocomo.co.jp/service/imode/menu_site/iarea
- 3) 柴田文久他：屋内向け歩行者ナビゲーションシステムにおけるユーザの状況を考慮した目的地推論方法，情報処理学会論文集，43，12，3809-3817，2003
- 4) 稲垣他：遺伝的アルゴリズムを用いた複数経路点をとまなう経路探索法，電子情報通信学会論文集，J83-D-I，5，504-50，2000
- 5) 福井良太郎他：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，情報処理学会論文集，44，12，2968-2977，2003
- 6) 笠原篤：交通システム工学，共立出版，1998
- 7) 松田美恵子他：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集，Vol. J87-A，No. 1，132-139，2004
- 8) 伊藤正男他：認識し行動する脳，東京大学出版会，15-19，1991
- 9) 新垣紀子，野島久雄：人はいつ道を尋ねるか：ナビゲーションにおける外的資源としての他者，認知科学，Vol. 5，No. 3，49-58，1998
- 10) 日本認知科学会：認知科学辞典，共立出版，806，2003
- 11) K. Lynch：The image of the city，Cambridge，Massachusetts，MITpress，1960
- 12) 日本ファジィ学会：ファジィデータベースと情報検索，日刊工業新聞社，153-182，1993
- 13) S.Miyamoto,T.Miyake,and K.Nakayama：Generation of a pseudo thesaurus for information retrieval based on co-occurrences and fuzzy set operations，IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, Vol.SMC-13, No.1, 62-70, 1983
- 14) Reiser B.J., Black B.J.and Abelson R. P.：Knowledge structures in the organization and retrieval of autobiographical memory，Cognitive Psychology, 17,00. 89-137