

屋内外空間を統合的に扱う 経路探索システムの提案

盛田 彰宏・佐藤 俊明・本間 克哉・高塚 智道（株式会社パスコ）

要 旨

近年、歩行者向けに経路案内を提供するサービスが普及し、一部の美術館や商業施設内などで実用化されている。これらのサービスは、事業者ごとに対象エリアが限定されており、ほとんどの場合で、サービス間の連携は行われていない。本提案では、複数事業者のサービスに分散する経路探索グラフを統合的に扱い、経路探索を実行するために必要な条件を挙げ、試作プログラムを用いた経路探索を行った。経路探索の結果から、試作プログラムに提案した手法を用いることで、屋外空間と屋内空間などに分散したサービス間の経路探索を統合的にできることが分かった。

キーワード：ユビキタス (ubiquitous)、ユーコード (ucode)、場所情報 (Locational Information)、歩行者ナビゲーション (pedestrian navigation)

1. 背景と目的

歩行者向けの携帯型端末の発達によって、美術館や動物園などで施設案内をするナビゲーションサービスが増えてきた¹⁾。これらは、カーナビに代表される道路ナビゲーションからは独立したサービスである。そのため、美術館案内などのサービスを道路ナビゲーションサービスと組み合わせて利用することはできない。

近年のWebサービスの潮流として、SOA（サービス指向・アーキテクチャ）やSBA（サービスベース・アーキテクチャ）がある。SOAに活用される地図サービスとして、

Google Maps²⁾ やBing Maps³⁾ などがあり、それらは屋外の道路等を対象として公開API（Application Program Interface）を用いて経路探索を行える。

現在の経路探索サービスは、サービス提供者が管理するデータベースに経路に関する情報を集約することで、サービス品質の確保がなされている。ところが、屋内の空間情報には、公的な道路などの情報とは異なり私的空間を管理することが多い。そのため、サービスごとにデータが管理される分散環境下でのサービスが重要になる。サービスを分散化することは、統合的なサービスにおいて品質が保証されない側面が生じるが、データ整備等の責任を個別のサービス提供者に分散でき、データ更新のタイミングなどをサービスごと個別に行えるメリットがある。

屋内施設を対象とした施設案内サービスについて、Webサービスとして情報をAPIでアクセスできるようにすることは可能と考える。このときに、屋内と屋外の空間情報の検索を、APIを組み合わせることで、シームレスな経路探索ができることが可能になると考える。

本研究では、空間コードとユビキタスID技術を利用することで、経路探索サービスに用いる場所情報のネットワークのグラフを連携し、複数事業者間のデータから経路探索を実現させるための手法を提案する。

2. 統合的な経路探索

はじめに、歩行者向けのナビゲーションサ

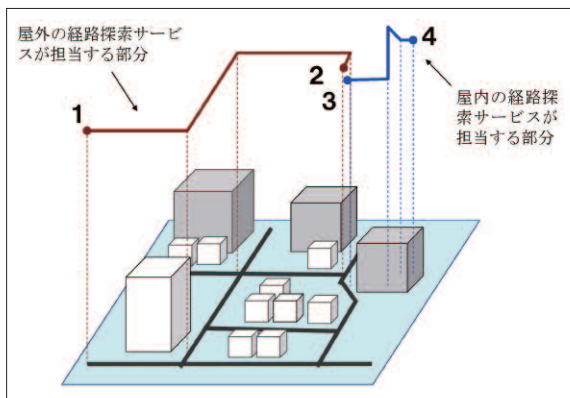


図1 屋外と屋内を統合的に探索する模式図

サービスを想定する。ナビゲーションを実現するためには、大きく分けて位置測位、マップマッチング、経路探索、案内の4つの機能が become 必要になる⁴⁾。本論では、このうち経路探索の機能を対象とし、仮想のサービスを設定して議論を進める。経路探索機能を提供する仮想サービスでは、検索対象範囲が異なる屋内と屋外の2種類を設定する。それぞれは、屋内と屋外のネットワーク探索用のグラフを保有することとし、APIを通じて外部のアプリケーションがそれぞれに経路情報の提供を求める処理ができるものとする。

図1は、屋外と屋内のそれぞれに独立したネットワーク上で統合的に経路探索するときのイメージを示したものである。図中の1から2の地点は屋外のグラフを用いて探索した結果を示し、図中の3から4は、屋内のグラフを用いた応答経路を示したものである。本研究では、このとき利用者が明示的に示す1と4の地点情報から統合的な探索ができる手法を探るものである。

3. 統合的に処理する方法の提案

3.1 閉空間から検索範囲を拡大

グラフを使って経路探索を実行するときには、グラフ内のノードから起点と終点の2点を指示することが必要である。利用者から与えられる出発地と目的地の情報は、全体の起

点と終点であるため、経由するグラフが分離している場合、それぞれのグラフの基点と終点が明示的に与えられるものではない。そこで、経路探索に用いるグラフごとに起点と終点を与えるため、中間地点を推定することが必要となる。図1で例示すると、1と4の地点情報から2と3の経由地点を推定することである。

このとき、利用者が与える起点または終点の情報が、商業施設など閉空間の経路探索サービス上の地点である場合、商業施設にある出入口の場所が、その経由地点である可能性が高い。図1の例では3の点に示す情報が建物の出口であると推測する。

そこで、屋内を対象としたグラフを用いるサービスには、あらかじめ建物や敷地の出入口を対象としたノードを設定しておく。外部のアプリケーションからAPIを通じて、屋外から屋内の経路探索を実行する場合、屋内の目的地となる1点を指定することで、施設の出入口候補地点との経路探索を行えるようにしておくことを提案する。

3.2 空間情報の提供

閉じた空間での経路探索のあとは、屋内グラフの出口が設定されているノードから、屋外の経路探索用グラフに対応するノードを検索することが必要になる。屋内と屋外に独立するサービスではグラフの提供者が異なる。そのため、それぞれのグラフのノードの近接箇所となる地点を推測する情報交換手法が必要になる。図1の例示では3の地点から2の地点を推測して発見することに相当する。

グラフの隣接地点に最もふさわしいノードを別のグラフから発見するために、ノードに座標や地理識別子による位置情報の属性を付与して条件検索することを検討した。情報の提供方法の実装はサービスに依存することが

考えられるが、そのときの位置情報の提供方法や、空間情報を管理するWebサービスの検出手法について標準的なルールを設けることで複数のグラフの統合が可能になると考える。

そこで、本研究では場所情報を説明する方法としてユビキタスID技術を使った空間コードを用いる方法を提案する。

4. ユビキタスID技術と空間コード

ユビキタスID技術とは、uIDセンター(ubiquitous ID center : www.uidcenter.org)で標準化を進めているコード体系と利用方法に関する技術である⁵⁾。ユビキタスID技術は、ネットワーク上にある情報から必要なものを特定し解決するために、ucodeと呼ぶ128ビット長のコード体系を利用する。また、ucodeに関連づけられた属性情報はuCR (ubiquitous Code Relation) と呼ぶグラフ状のデータベースを用いて管理される。このデータベースから特定のucodeを逆引きする検索手法については、データスキーマを用いて効率的に行う手法が開発されている⁶⁾。

このucodeを歩行者向けのナビゲーションに応用した事例には別所らの研究¹⁾や国土交通省が行った自律移動支援プロジェクトに関する事業成果がある⁷⁾。

本研究では、空間情報に関する情報を識別

する方法として、ucodeとucodeに関連づけられる属性情報およびそのスキーマを利用することとし、それを空間コードと呼んでネットワークグラフ上のノードの特定手法として活用することとした。

5. サンプルデータを使った実験

5.1 システムの検索手順

上記の提案内容を確認するために、サンプルデータを作成し、経路探索を行うアプリケーションから探索実験を行った。

実験では、携帯電話の端末を想定して、目的地と出発地の情報を与え、経路探索のグラフの応答結果が得られることを確認することとした。システムの動作のフローを図2に示す。システムは大きく4つのアプリケーションからできている。

- ・コントローラ：経路探索に関して複数のサーバシステムに分散する情報を管理するアプリケーション
- ・屋内情報提供空間情報プロバイダ：屋内のネットワークグラフを管理し、目的地および出口までの経路探索を行うAPI等を備えたサーバシステム
- ・屋外情報提供空間情報プロバイダ：屋外のネットワークグラフを管理し、2地点間の経路探索を行う。また、指定した位置情報に近接するノードを発見するAPI等を備え

表1 屋内と屋外の空間情報を提供するプロバイダに実装したAPI

#	APIの役割	応答内容
1	空間コード情報の問い合わせ	空間コードの属性情報を返す
2	プロバイダ情報(処理能力)問い合わせ	プロバイダが実装しているAPI一覧を返す
3	経路探索	プロバイダが管理している空間情報内で指定した2点間の経路を探索する
4	出口までの経路探索	指定の位置から外部までの経路を返す(屋内情報提供空間情報プロバイダのみ)
5	近傍問い合わせ	指定位置に近い外部接続地点を返す

表2 コントローラに実装したAPI

#	APIの役割	応答内容
6	統合経路探索	屋内外を統合した経路探索を行う
7	プロバイダ間の接続情報問い合わせ	指定の空間コードに関連した過去の接続実績(キャッシュ)の有無を返す

たサーバシステム

・ユーザインターフェース：

PC画面および携帯電話のブラウザから経路探索を実行するための、ucodeを扱うためのアプリケーションフローの開始は、経路探索ユーザとして利用者がシステムへ基点と終点の空間コード情報を与えるところから始まる。空間コードは、利用者が広告媒体等に記載されるQRコードやサービスのWebサイトで行うコード変換などを使って得るものと想定している。

また、表1および表2にコントローラおよび屋内情報提供空間情報プロバイダ、屋外情報提供空間情報プロバイダに実装したAPIの概要を示す。それぞれのAPIの実行のタイミングを図2のフローに表のナンバー（#）で示す。

5.2 使用した空間データ

千代田区及び丸の内地区のデータを用いて、経路探索のシミュレーションを行った。屋外と屋内のグラフは、TDM（東京デジタルマップ社）のデジタルマップ及び建物データの属性にあるフロア数から作成した。グラフの統合に使用するため、ノードのIDにucodeを与え、ucodeの属性を登録した。今回の接続実験では、グラフ間の近接ノードの探索には、同一フロアの最近接の座標を探索する方法を用いることとしたため、ノードの属性情報には座標情報、フロア階層及び出口情報を追加した。図3に、作成したデータの事例として、使用した出入

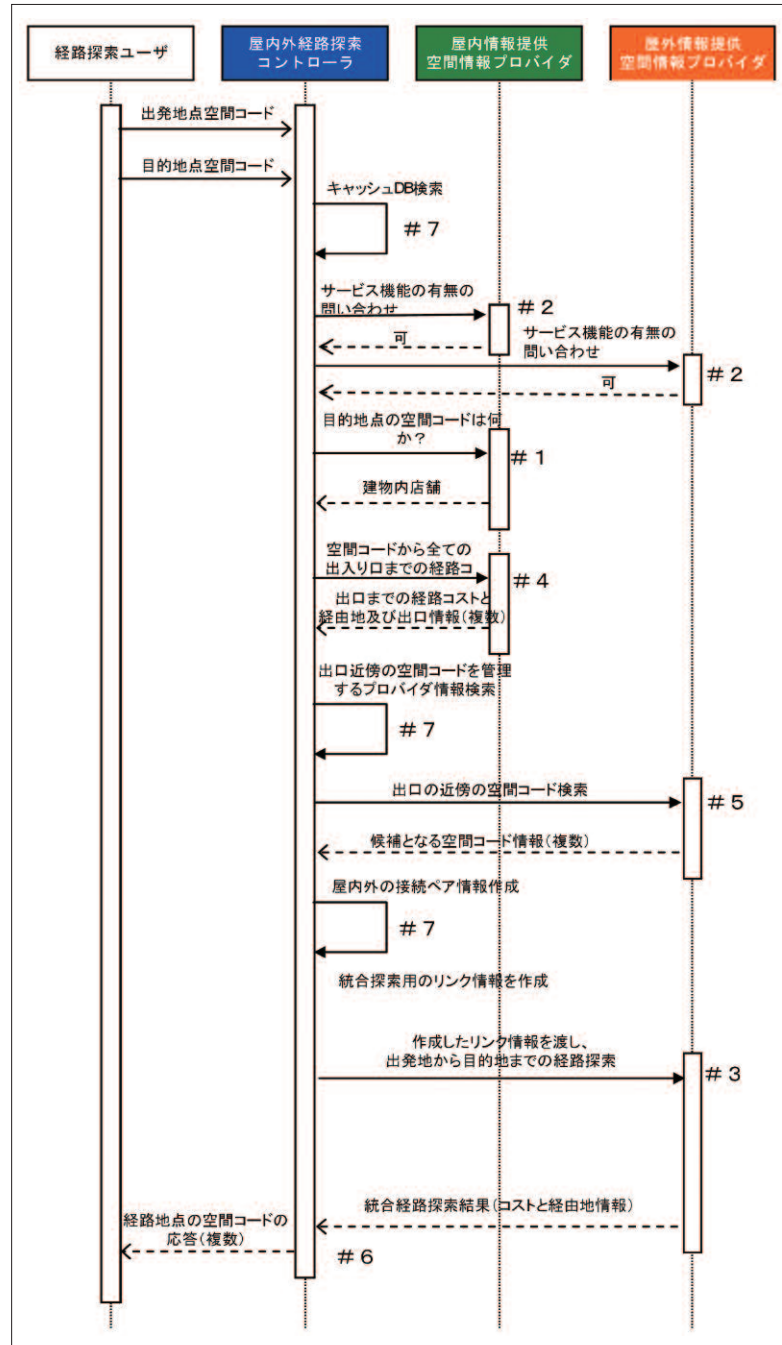


図2 経路探索の手順



図3 サンプルデータ（設定した屋内空間からの出入口）

り口の地点を示す。出入り口の地点は、屋外の道路上のグラフの位置とは別に、屋内空間のグラフ上の出入口の指定を与えたノードである。

5.3 実験環境

実験では一台のサーバ機器内に複数のDBMS（データベースマネジメントシステム）を独立して配置する方法を行った。DBMSには屋内や屋外の空間情報を格納した。屋内のプロバイダは丸の内地区の大規模ビルを想定して40個のDBMSに保存した。それぞれのDBMSには、前項で説明したAPIの機能を備えた。

6. 結果

提案する条件で動作するAPIを用いることで分離した複数の空間情報を統合的に扱える

表3 経路探索実験の結果

	応答経路のノード数	経路探索時間（全体）
平均	28.20	3.295（s）
最大値	57	26.937（s）
最小値	9	0.015（s）未満
標準偏差	7.60	2.916

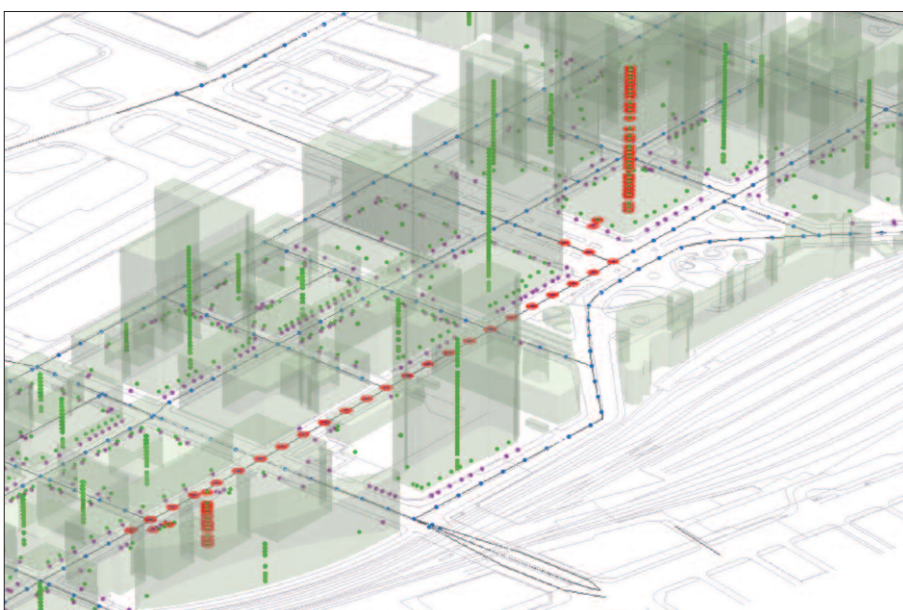


図4 経路探索結果例

ことを確認するためにシミュレーションを実施した。シミュレーションは、屋内と屋外を跨るように異なるDBMSが管理する空間コードを目的地と出発地点に設定して経路探索を行うものとした。その結果、予測通りの実施結果が得られ、提案する条件によって、屋内と屋外で独立しているグラフを統合的に経路探索に利用できることが分かった。シミュレーション結果の一例から、経路となったノードを着色した図を図4に示す。

シミュレーションでは、出発地点と目的地が異なるDBMSで管理されている空間情報を合計40箇所選出し、その地点をそれぞれ目的地と出発地に組み合わせた1560パターンの経路を探索した。このときの1560パターンの経路は任意の建物内の出発地から、屋外を経由して、別の建物内の目的地を探索するという3種類のDBMSを経由するものとした。

経路探索に関する計測結果を表3に示す。経路探索の実行時間は、平均3.295秒であり、平均ノード数は28.2点であった。

7. 考察

実験の結果からは、複数の独立したDBMS

に跨る経路情報を用い、統合的に経路情報が検索できることがわかった。

検索時間では、丸の内地区の約3km四方の範囲内のデータを中心として実行したが、統合的な経路結果が求まるまで、数秒かかる結果となった。このため、範囲が拡大した場合の将来の実用に向けた

若干の課題が残ることが分かった。探索時間がかかる一番大きな要因として、屋内空間情報プロバイダが持つ出口情報が多い場合に複数の出口に対して、経路探索および他のプロバイダから一致するノードの検索を、出口の数の分実行されることであった。これは、出口が複数ある場合に、全体として最短な出口を使う経路を順位つけるために行う処理である（図2に示す#4、#5に相当）。このことが、実行時間全体の中に占める繰り返し動作を増加させている原因となっている。

また、今回は同一サーバ機器にDBMSを複数設定して、擬似的な通信環境を用いて経路探索を行ったが、実用化の際には、実際のインターネット回線を跨る遠隔地にあるサーバ間を繋ぐ処理となるため、通信時間が占める時間が増加すると考える。ただし、経路探索実行処理そのものは、DBMSを用いている面においてDB構造の調整や、サーバ機が機器レベルとして分散した場合の並列処理部分の再検討をおこなうことで、改善の余地が十分に有ると考えている。

試作したサンプルデータについては、複数のグラフを接続するノードを検出するために、緯度、経度、フロア、出口であることの有無の情報を用いた。緯度と経度は平面地図情報の近接を求めるために用い、フロアは垂直方向に重なる屋内のノードを選別するために使用した。また、出口であることの有無の属性は、提案するAPIが動作するための前提情報として使用した。これらの座標等の属性情報は、屋内側と屋外側のグラフにおいて、位置精度が許容範囲内で揃っている重要だと考えられる。本実験では、サンプルデータの作成のために入手した最大縮尺の資料として地図情報レベル2500相当のGISデータを用い、屋内と屋外の空間情報を作成した。そのため、両者の間での許容範囲の差は生じていな

いが、実際にインターネットの分散環境下においては、対策が必要になると考える。

8. まとめと今後の課題

提案した屋内と屋外を統合的に扱う手法では、以下の成果が得られた。

- ・ Web上で分散して管理される空間情報は、いくつかの共通のAPIを用いて処理されることで屋内外空間の統合的な経路探索が行えた。
- ・ グラフ上の一点とグラフが他のグラフに接続する可能性のあるノード（出口ノード）を明示することで、グラフの統合検索ができた。
- ・ グラフ上のノードと対応して座標記述などの地理識別子を付与することで、複数のグラフの接合するノードを発見することができた。

今後の課題として、サービスレベルでの実装を行うこと、屋内空間の中に別の屋内空間が入れ子状に入り込む場合などの複雑な場合における検証、得られる経路計算結果が現場に合わせて正しく得られる正確さの向上がある。また、本提案は経路計算用のグラフの作り方において、出入り口を意識したデータの作成が必要であるため、データ作成時のルールの検討が必要になると考える。さらに、サービスレベルでの実装時には、情報サービスの提供者が複数ある場合の最適なサービス選択の方法や、利用者から目的地情報を統合的に選択する方法の検討などが必要になると考える。

発表日2009年6月19日

■謝辞

本稿には、総務省「ユビキタス・プラットフォーム技術（ユビキタス空間情報基盤）の研究開発」（平成20年度～平成22年度）の成

果の一部を含む。

■参考文献

- 1) Bessho, M., Kobayashi, S., Koshizuka, N., and Sakamura, K. : A Space-Identifying Ubiquitous Infrastructure and its Application for Tour-Guiding Service, In Proceedings of SAC 2008, pp1616-1621, 2008.
- 2) Google Maps: <http://maps.google.co.jp/>
- 3) Bing maps: <http://www.bing.com/maps/>
- 4) Nicholas A. Koncz, Teresa M. Adams : A data model for multi-dimensional transportation applications ,int. j. geographical information science 2002, vol. 16, no. 6, pp551-569, 2002
- 5) Sakamura, K. : Ubiquitous ID Technologies 2008, YRP Ubiquitous Networking Laboratory, 2008.
- 6) T. Kamina, N. Koshizuka, and K. Sakamura, Embedding Legacy Keyword Search into Queries for the Ubiquitous ID Database, Proceedings of the 2nd International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS2008), 5186, pp263-272, 2008
- 7) 国土交通省国土技術政策総合研究所：自律移動支援システムに関する技術仕様（案）、2009.5（<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/jiritsu/gijutsusiryo.pdf>）

■発表者

盛田彰宏（もりた あきひろ）

株式会社パスコ インフラマネジメント事業部 技術士（建設部門）

1997年株式会社パスコ入社

国や地方自治体等への地理情報システムの企画、開発、実証実験等に関わる。

現在、空間情報を活用するユビキタスコンピューティング事業の企画・研究開発に携わる。

