

プランニングと空間の意味表現データの連携によるナビゲーション

平塚 誠良^{†,*} 松尾 豊^{*†} 幸島 明男^{*†}
高木 朗^{††,*} 和泉 憲明^{*†} 車谷 浩一^{*†}

本稿では、これまでの経路プランニングに加え、空間の機能を記述した意味表現データとの連携による新しいナビゲーション手法について述べる。ここでは、ナビゲーションというサービスを様々なサービスの連携、つまり小規模な部品の組み合わせにより達成できる大目的と捉えている。ユーザからのリクエスト（問題）解決の手順にそって、経路プランナー、オブジェクト・リポジトリ、空間の意味表現データの3つのサービス・コンポーネントを連携し、ナビゲーション・サービスを構成する。提案したナビゲーション・システムの実装を行い、意味表現データと連携することで、ユーザの曖昧なリクエストから目的地を推論し、ナビゲーションを行うシステムを実現した。

Navigation with Route Planning in cooperation with Spatial Semantics

SHIGEYOSHI HIRATSUKA,^{†,*} YUTAKA MATSUO,^{*†}
AKIO SASHIMA,^{*†} AKIRA TAKAGI,^{††,*} NORIAKI IZUMI^{*†}
and KOICHI KURUMATANI ^{*†}

We discuss a smart navigation system with route planning in cooperation with spatial semantics to achieve the development of human-centered information-processing assistance systems. The central idea is coordination of components as services, such as business process modeling. Service consists of three elements, location, object and function. Our proposed navigation system consists of three main components. These are route planner, object repository and space functionality map(SF-Map). These components correspond to elements of service, respectively. By handling these components, we realize the smart navigation system which can replies our ambiguous requirements. The validity of this proposed technique is shown by the application of human navigation. This navigation system is far better than classical one to realize an intelligent space.

1. はじめに

近年、移動通信網の発展や計算機の小型化・高性能化による携帯情報端末の普及により、地理的な位置情報を利用し、ユーザの行動を支援するシステムやアプリケーションの研究開発が盛んに行われている。また、無線 LAN(IEEE802.11b/a) や Bluetooth の普及にとともに、無線通信網を利用した屋内向け測位技術の研

究開発が行われており、屋外だけでなく屋内での位置情報支援サービスにも注目が集まっている。

現在、位置情報を利用した情報支援サービスとして最も一般的なものの一つは、ナビゲーションである。GPS を利用したカーナビゲーション・システムは、自動車にはもはや標準的な装備となってきている。また、携帯を利用した歩行者ナビゲーションに関しても、au の EZ ナビウォークのようなカーナビ同様のサービスが登場している。このようなナビゲーション・サービスに付随した機能として、レストラン、アミューズメント施設や公共施設などの検索サービスを行うことも可能である。これらのサービスはユーザの現在位置や移動経路上の近接エリアから目的とする場所を探し出すものである。しかし、これらのナビゲーション・サービスは、ユーザの明確な目的によってのみ有効となるサービスである。つまり、目的を達成できる明示的な場所を検索し、その場所までの経路をプランニングするものである。屋内環境での歩行者ナビゲーションを

* 産業技術総合研究所 サイバーアシスト研究センター
Cyber Assist Research Center, AIST
† 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (CREST)
CREST, Japan Science and Technology Agency
†† 株式会社 CSK
CSK Corporation
Contact:
〒 135-0064 東京都 江東区 青海 2-41-6
産業技術総合研究所 臨海副都心センター内
サイバーアシスト研究センター
Email:
hiratuka@carc.aist.go.jp or s.hiratsuka@aist.go.jp

考えた場合、例えば、食事をする場合を考えると、「レストラン」という明確な目的地を、ユーザが決定することにより、レストランまでの経路をプランニングし、ユーザにその情報提示を行うことは可能であった。しかし、「お腹が空いた」というユーザのリクエストに対しては、ナビゲーション・システムは経路プランニングを行うことができない。これは、システムが「空腹」という状況を解決する方法を推論し、この目的を達成できる場所を確定、かつそこまでの経路プランニングを行うことができないためであり、ユーザは「レストラン」という場所を明確に決定する必要があった。

そこで本報告では、これまでの経路プランニングに加え、空間の機能を記述した意味表現データとの連携による新しいナビゲーション手法を提案する。ここでは、ナビゲーションというサービスを様々なサービスの連携、つまり小規模な部品の組み合わせにより達成できる大目的と捉え、個々のサービスの連携方法について述べる。特にサービスが Location, Object, そして Function から構成されていることに着目する。これをナビゲーション・サービスにあてはめると、それぞれの構成要素は、経路プランナー (Route Planner)、オブジェクト・リポジトリ (Object Repository)、空間の意味表現データ (Space Functionality Map(SF-Map)) に対応すると考えることができる。

まずはじめに、これらの個々のサービス・コンポーネントについて簡単に説明を行う。次にユーザからのリクエスト (問題) 解決の手順を示し、コンポーネントが如何に連携するかについて説明する。そして最後に、提案したナビゲーション・システムの実装について述べる。空間の意味表現データと連携することで、ユーザの曖昧なリクエストから目的地を推論することが可能となり、これまでのような現在位置から目的地までの静的な経路提示にとどまらないナビゲーション・システムを実現する。

2. ナビゲーションのサービス・コンポーネント

本節では、ナビゲーションというサービスを様々なサービスの連携によって実現される大目的と考える。つまり、小規模な部品 (サービス・コンポーネント) の組み合わせ (コーディネーション) により達成することができるサービスである。一般的なサービスは、i) Location, ii) Object, そして iii) Function より構成されていると考えられる。本報告でとりあげるナビゲーション・サービスにあてはめると、これらの要素はそれぞれ、表 1 に示す通り、i) 経路プランナー (Route Planner), ii) オブジェクト・リポジトリ

表 1 ナビゲーション・サービスを構成するコンポーネント

Service Elements	Navigation Service Components
Location	: Route Planner
Object	: Object Repository
Function	: Space Functionality Map

り (Object Repository), iii) 空間の意味表現データ (Space Functionality Map(SF-Map)) に対応し、これらの各サービス・コンポーネントが連携することによってナビゲーション・システムを構成する。以下に、それぞれのサービス・コンポーネントについて簡単に説明する。

2.1 経路プランナー

経路プランナーは位置に関する情報を扱う。本ナビゲーション・システムでは、経路プランナーは現在位置から目的地までの最短経路を求める。プランナーは、屋内環境の幾何学的な地図データ (図 1) とグラフのデータ (図 2) を持っている。この地図データを用いることで人や場所との幾何学的な位置関係を求めることも可能である。特に、ビルなどの複雑な屋内環境においてナビゲーションを行う際に、空間の幾何学的な位置情報は、進むべき方向や位置関係を知るうえで重要なデータとなる。

また、経路プランニングは最短経路を求めることだけが目的ではなく、シンプルな経路 (Simplest-Path)¹⁾ を求めることも重要である。屋内環境においては、複雑な最短経路を提示するより、むしろ、多少は経路が長くなるが、簡単明瞭な経路を提示する方が有効となる場合が多いと考えられる。しかし、本報告では、最短経路のみをとりあげ、Simplest-Path に関してはふれないこととした。

2.2 オブジェクト・リポジトリ

オブジェクト・リポジトリは、ユーザの位置情報や通路が通行可能か施設が利用可能あるいは混雑しているなどのリアルタイム情報の管理を主に行う。

2.3 空間の意味表現データ

空間の意味表現データとは、空間の機能的な側面に着目した意味を記述している。人間の曖昧なリクエスト (問題) に対し、問題を解決することが可能な場所を返答可能なサービス・コンポーネントである。例えば、「お腹が空いた」というユーザのリクエストからこの問題を解決する場所の候補としてレストランの場所をユーザに提案することができる。ユーザは、不案内な場所でナビゲーション・サービスを利用する機会が多いと考えられ、ユーザのリクエストを解決可能な

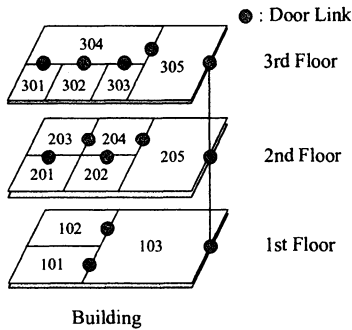


図 1 ビルディングの構成

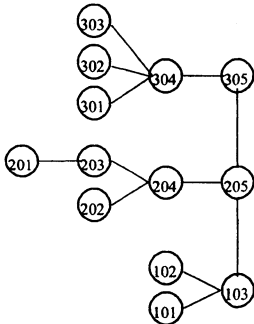


図 2 グラフ

具体的な場所や設備が既知とは限らない。例えば、東京や大阪を訪れた老人や、他国を訪問する外国人などが良い例であろう。なお、空間機能の例を図 3 に示した。詳しくは、文献¹²⁾を参照されたし。

3. ナビゲーション・システムの実装

本節では、前節で提案したナビゲーション・システムの実装について述べる。ここでは、屋内環境における歩行者ナビゲーションをとりあげる。

3.1 システムの構成

まずはじめに、我々が提案するナビゲーション・システムの構成について述べる。図 4 に示すように、各々のサービス・コンポーネントはナビゲーション・マネージャと TCP/IP ソケット通信によりデータの入出力を行う。経路プランナー、オブジェクト・リポジトリはそれぞれ JAVA により実装されている。また、SF-Map は CGI としてサービスを提供している。ユーザが入力したリクエストは、まずはじめにナビゲーション・マネージャが受け取る。次に、マネージャがユーザのリクエスト（問題）の解決を行う。ここではリクエストを各サブゴールに分解する。続いて、必要な情報を得るため、各コンポーネントにデータが送られ、最終

```
<?xml version="1.0" encoding="EUC-JP" standalone="yes"?>
<places>
.....
(abbreviation)
.....
<place label="The 1st Meeting Room">
<afford>
<condition type="user">visitor, resident</condition>
<function type="enable">meeting</function>
<function type="enable">projector available</function>
</afford>
<afford>
<function type="access">Passage in front of Meeting Room</function>
</afford>
</place>
.....
(abbreviation)
.....
</places>
```

図 3 空間機能の例

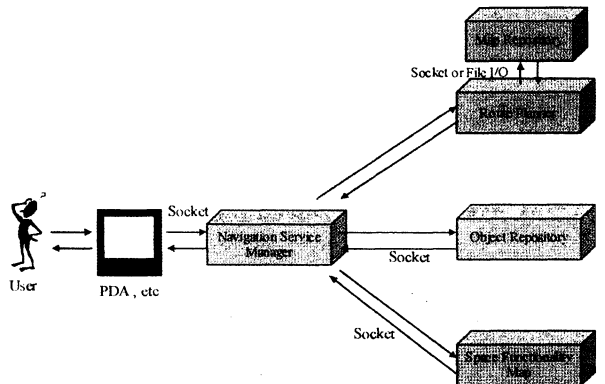


図 4 ナビゲーション・システムの構成

的にはユーザの現在位置と目的地の ID を得ることで、経路プランニングを行い、ユーザに経路を提示する。マネージャがどのようにサービス・コンポーネントの連携を行うかに関しては次節で述べる。

3.2 サービス・コンポーネントの連携

ここでは、個々のサービス・コンポーネントを管理するナビゲーション・マネージャが、ユーザのリクエスト（問題）を解決する手順およびコンポーネントの連携方法について簡単に説明する。

例えば、「A さんに会いたい」という場合をとりあげると、問題解決手順と連携方法は図 5 のようになる。

3.3 歩行者ナビゲーション・システム

本節では、これまでに述べた構成により実装した、屋内環境における歩行者ナビゲーション・システムについて説明する。オフィスなどのビル内部をはじめ、

- ・ i) 「A さんに会いたい」をナビゲーション・マネージャが「面会のアポをとる」, 「A さんの場所に移動する」に展開。
- ⇒ ii) 「面会のアポを取る」をマネージャが展開し, 「アポを取れる地点 P を見つける」, 「P に行く」に展開。
- ⇒ iii) 「アポを取れる」という機能を SF-Map により検索, 地点 P を見つける。
- ⇒ iv) 「P に行く」をマネージャが「地点 p_1, p_2, p_3 を通過」へ展開。
- ⇒ v) オブジェクト・リポジトリに地点 p_1, p_2, p_3 が通行可能であるか, または混雑していないか確認の問い合わせ。
- ⇒ vi) 「A さんの場所に移動する」を「A さんの現在位置 $P_{present}$ を調べる」, 「 $P_{present}$ に移動する」に分解。
- ⇒ vii) オブジェクトリ・ポジトリが A さんの位置情報を見に行き, $P_{present}$ を決定。
- ⇒ viii) 「地点 $P_{present}$ にいる」をマネージャが「地点 q_1, q_2, q_3 を通っていく」と展開。
- ⇒ ix) オブジェクトリ・ポジトリに地点 q_1, q_2, q_3 が通行可能であるか, または混雑していないか確認の問い合わせ。
- ⇒ x) 「地点 p_1, p_2, p_3 を通って地点 P に行ってアポを取り, 地点 q_1, q_2, q_3 を通り, 地点 $P_{present}$ に行き, そこにいる A さんに会う」という問題解決結果を得る。
- ⇒ xi) 経路プランナーにより現在位置から地点 $P_{present}$ への経路探索, 経路を得る。
- ⇒ xii) マネージャがユーザに対し, 情報提示。

図 5 ユーザ・リクエストの解決手順

駅, 美術館やショッピングセンターにおけるナビゲーションは, 商品の照会や展示物に関する情報の提示とともに, 重要かつ自然なサービス要求であると考えることができる。そこで, 本提案システムでは, 以下に述べるユーザのナビゲーションに関するリクエストに対し, 返答を可能とするシステムを実現した。

- ・ Object (人など) の位置情報に関するもの
- ・ Object までの経路情報に関するもの
- ・ 「お腹が空いた」等, 明確な目的がないもの

これらのリクエストに対し, ナビゲーション・マネージャが問題解決を行い, 各サービス・コンポーネントの連携を行うことで, 現在位置と目的地を決定し, ナビゲーションを実現している。

なお, ここで用いる屋内環境の例は, 第 2 章でとり

あげた図 1 に示した幾何学的地図データと図 2 に示したグラフデータを持つものとする。ユーザは, 会いたい人や行きたい場所, または「喉が渇いた」といった曖昧な質問を PDA を通して入力し, 屋内環境のナビゲーション情報を得る。

4. 検討課題

本節では, ナビゲーション・システムにおけるサービスの拡張を検討する場合, どのようにサービスを拡張するのかという解決策の一つとしての Web Services⁸⁾ について述べる。また, ユーザのリクエスト (単語) の表現が異なることによるシステムトラブルの解決策としてオントロジーによる単語のマッピング手法について述べる。そして最後に, これらの検討課題を解決することで構成される, 新しいナビゲーション・システムの構成例を示す。

4.1 Web Services としてのサービス提供

現在のナビゲーション・システムは JAVA API として実装されているが, 個々のサービスを Web Services として実装し, FIPA エージェントがデータの仲介を行うことで汎用性を高めることができる。従来のインターネット上での情報サービスとは異なり, ユビキタス情報環境では各々の情報サービスは高度に分散したものとなり, ユーザが自分の必要と要求に応じて適切な情報サービスを見つけ出し, それらを組み合わせることにより, 目的とするサービスを新たに作り出してゆく仕掛けが必要である²⁾。個別に提供される情報サービスをサービス・コンポーネントと捉え, これらのコンポーネントの組み合わせにより, 目的を達成できるサービスを構成することができる。また, 各々のサービス・コンポーネントは, W3C による DAML-S⁹⁾ や FIPA エージェント¹⁰⁾, さらに WSDL¹¹⁾ などの標準サービス記述言語を活用することで, より一般的なコンポーネントの構築とサービスの連携を可能とする。

4.2 オントロジーによるワードマッピング

本提案システムにおける, もう一つの課題は, ユーザのリクエストに用いられる単語の問題である。このため, オントロジーを用いたワードマッピングも重要な課題となる。例えば, ユーザのリクエストに「喫茶店」という単語が用いられた場合, 経路プランナーが用いるマップ・リポジトリやオブジェクト・リポジトリにおいても同様の単語が使用されていなければならない。これが異なる場合, システムは処理を続行できない, あるいは正確な情報を返答できないことになる。

そこで, 本システムではプロトタイプ・システムとい

うこともあり、単語レベルでのワードマッピングをまずはじめに考え、オントロジーの中でも特に、Word-Net¹³⁾を用いてワードマッピングを行う方法をとりあげる。最近、これらのオントロジーはRDF¹⁴⁾フォーマットで配布されており、これらのリソースにアクセスすることで容易に構築するシステムへ適用することが可能である。もちろん、他のオントロジーも利用可能である。ユーザのリクエストは、自然言語であることがより自然であるため、今後は文によるリクエストに対しても同様の課題を解決する必要がある。

4.3 エージェントによるナビゲーション・システム

図6に新たに提案するシステム構成の例を示す。これらのシステムは前述したように、エージェントとWeb Servicesにより構成されている。このような構成を行うことで、あらたなサービスをWeb Servicesとして、既存のシステムに容易に付加することが可能となる。また、これらのエージェントはエージェント・コミュニケーション言語FIPA-ACLによって通信を行っているために他の機関が作成したシステムに対して容易にアクセスすることが可能であり、その汎用性はきわめて高いといえる。そして、DAML-SやOWL-Sで記述されたサービス・コンポーネントを連携することで、ナビゲーションというサービスを実現する。

5. 関連研究

本節では、情報サービスの連携と位置情報のセンシングの観点から関連研究を概観することで本研究の位置付けを確認する。

5.1 情報サービスの連携

情報サービスの記述に関しては、Semantic Webの研究コミュニティにおいて、DAML-S⁹⁾やWSDL¹¹⁾などの標準サービス記述言語を基盤に、インターネット上のサービスを連携させるためのフレームワークの研究が行われている。しかし、これらの研究の応用例は、デジタルの世界に閉じたものとなっている。

そこで、幸島ら^{3), 4)}は、ユビキタス情報環境のためのマルチエージェントアーキテクチャCONSORTSを用い、実世界におけるサービス連携のプロトタイプ・システムの実装をおこなっている。最終的には、我々が本研究で取り組んでいるナビゲーション・システムを、幸島らの提案するサービス連携アーキテクチャのアプリケーションとして組み込むことも可能となる。

また、和泉ら⁵⁾はCONSORTSを用い、デジタル世界のエージェントにより、実世界のユーザを支援するためのシステムのアーキテクチャとユーザ・インタ

フェースを提案している。これは次世代Webのコンセプトをユビキタス計算環境に具現化させたものである。情報家電などのインタフェースへの応用も視野に入れており、本研究における提案システムへも積極的に組み込んできたいと考えている。

5.2 センサ・ネットワークによる位置情報の取得

本研究において目標としている、位置情報を利用した情報支援サービスを行うためには、各種センサより構成されるセンサ・ネットワークから位置情報を取得および収集することが必要であることはいうまでもない。

西村ら⁷⁾は無電源で動作可能な情報端末CoBITを軸に位置情報を取得し、位置情報データベースを構成しイベント空間における情報支援を目的にシステムの実装を行っている。特に屋内環境においては、伊藤ら⁶⁾が提案しているi-lidarをCoBITシステムと組み合わせることでより詳細な位置情報データが得られ、情報支援に必要な様々な粒度での位置情報を提供することが可能となる。本研究では、これらのセンサ・ネットワークと連携することにより位置情報を利用する。

6. おわりに

本報告では、プランニングと空間の意味表現データの連携によるナビゲーションについて述べた。基本的なコンセプトは、コンポーネントという形で提供される個々のサービスを組み合わせることで、異なった新たなサービスを構成し、提供することである。まずはじめに、個々のサービス・コンポーネントとして、経路プランナー、オブジェクト・リポジトリそして空間の意味表現データについて述べた。次に、ユーザからのリクエスト(問題)解決の手順を示し各々のコンポーネントの連携方法について述べ、ナビゲーションという大目的を達成するシステムを構成・実装した。本システムの実装により、意味表現データと連携することで、ユーザの曖昧なリクエストから目的地を推論し、ナビゲーションを行うシステムを実現した。

また、実装したシステムに対する検討課題として、Web Servicesとしてのサービス提供とオントロジーを用いたワードマッピングについて検討した。

我々の最終目標は、エージェント同士が自律的にネゴシエーションを行うことで、Web Servicesとして実装されたサービス同士を自動的に連携可能にするシステムを構築することである。また、これらのWeb Servicesを空間にグラウンディングし、位置情報に基づいた情報支援を実現することである。

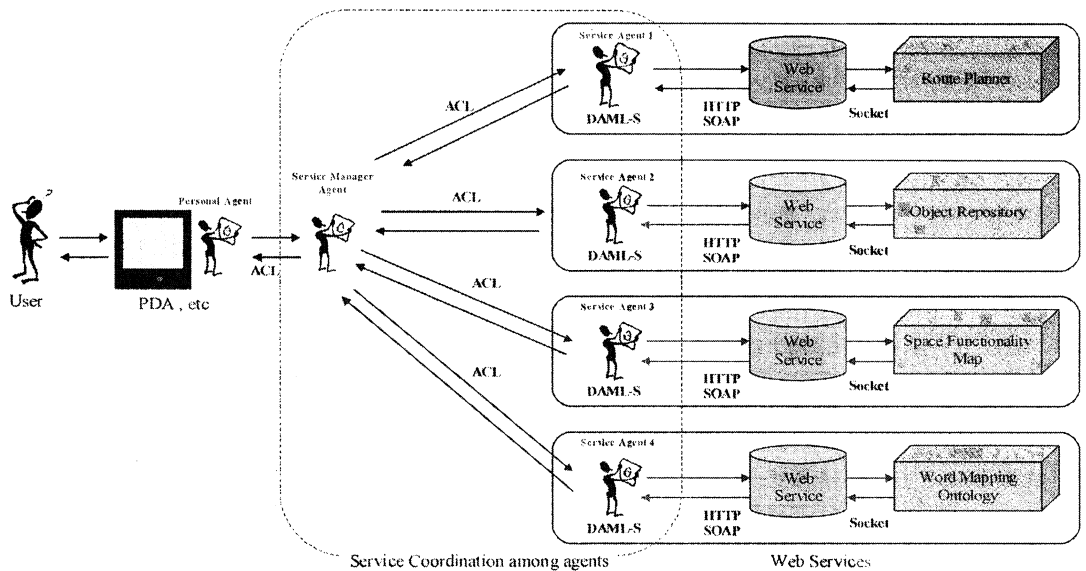


図 6 エージェントと Web Services によるナビゲーション・システム

謝辞 本研究は科学技術振興機構「戦略的創造研究推進事業・高度メディア社会の生活情報技術・人間中心の知的情報アクセス技術」の研究費により行われたものである。

参考文献

- 1) Duckham, M., Kulik, L.: "Simplest Paths": Automated route selection for navigation, In Kuhn, W., Worboys, M. and Timpf, S. (eds) Lecture Notes in Computer Science 2825, Springer-Verlag, pp.169-185, (2003).
- 2) 車谷 浩一, ユビキタス情報環境のためのマルチエージェントアーキテクチャ CONSORTS, AIST Today, Vol.3, No.10(2003).
- 3) A. Sashima, K. Kurumatani, N. Izumi: Location-Mediated Service Coordination in Ubiquitous Computing, Proc. of the Third International Workshop on Ontologies in Agent Systems(OAS-03), AAMAS, pp.39-46(2003).
- 4) 幸島 明男, 和泉 憲明, 車谷 浩一, 中島 秀之: セマンティック Web エージェントによる実世界指向のサービス連携機構, 情報処理学会研究報告 (2003-UBI-2), Vol.2003, No.115, pp.123-128(2003).
- 5) 和泉 憲明, 幸島 明男, 車谷 浩一, 中島 秀之: サービス連携のためのアーキテクチャ CONSORTS における WebSLIT, 情報処理学会研究報告 (2003-UBI-2), Vol.2003, No.115, pp.129-134(2003).
- 6) H. Itoh, S. Yamamoto, M. Iwata, Y. Yamamoto: Guest guiding system based on the indoor laser radar system using HV targets and a frequency shifted feedback laser, Proc. of CPT2000, Tc-23, pp.117-118(2000).
- 7) Takuichi Nishimura, Hideo Itoh, Yoshinobu Yamamoto, Hideyuki Nakashima: A Compact Battery-less Information Terminal(CoBIT) for Location-based Support Systems, Proc. of SPIE, Vol.4863, pp.80-86(2002).
- 8) Web Services Activity, <http://www.w3c.org/2002/ws/>, (2002).
- 9) DAML services, <http://www.daml.org/services/>, (2002).
- 10) FIPA(Foundation for Intelligent Physical Agents), ACL(Agent Communication Language), <http://www.fipa.org/specs/fipa00061/>, (2000).
- 11) WSDL(Web Services Description Language), <http://www.w3.org/TR/wsdl>, (2001).
- 12) Yutaka MATSUO, Akira TAKAGI, Kôiti HASHIDA, Hideyuki NAKASHIMA: Space Functionality Retrieval System based on Spatial Semantic Representaion, Journal of JSAI(to be appeared).
- 13) WordNet: a lexical database for the English language, <http://www.cogsci.princeton.edu/wn/>, (2003).
- 14) RDF(Resource Description Framework), <http://www.w3.org/RDF/>, (1997).