

仮想空間メディアによる情報検索支援機構

小 磯 健 吾^{†,☆} 森 威 久^{††} 田 中 克 己[†]

本論文では仮想空間メディアというものを情報探索のための媒体として提案し、この概念を実現するのに必要なアルゴリズム等について述べる。仮想空間メディアとは実空間の特徴を継承し、仮想空間ならではの特徴も併せ持った情報探索を支援するための媒体として位置付けている。我々は検索目的が曖昧なユーザの情報探索支援を行うために、実データのブラウジング、複数サンプル選択による質問の自動形成、並びに試行錯誤型の質問形成を仮想空間を効果的に用いることによって行うことを提案する。仮想空間メディアを用いた情報探索では、ユーザは検索対象のオブジェクト自身をブラウジングでき、サンプルを複数選択することによって質問を自動的につくることができる。興味の揺らぎを想定した論理和型質問が選択されたサンプルに基づいてつくられるため、ユーザは意識せずにブラウジングを続けることができる。検索結果は内容に基づき分類され動的に自動生成される仮想空間内に空間的に表示されるため、ユーザはそれらのオブジェクトをブラウジングして再びサンプル選択することにより、質問を段階的に洗練することができる。仮想空間内にオブジェクトを空間配置し、効果的にブラウジングするために、オブジェクトを表示すると同時にその属性情報も呈示している。ユーザはオブジェクトを観察する際、周囲のものと比較しながら見ているものと考えられるが、ウォークスルーによって変わる視野内のオブジェクトに応じて動的な属性情報呈示を行うための制御アルゴリズムも考案している。アルゴリズムの検証のため、プロトタイプの実装についても触れることにする。

A Supporting Mechanism for Information Retrieval Based on Virtual-Space Media

KENGO KOISO,^{†,☆} TAKEHISA MORI^{††} and KATSUMI TANAKA[†]

In this paper, we propose Virtual-Space Media as media for supporting information retrieval and discuss several algorithms necessary for their realization. We think of Virtual-Space Media as media inheriting some of the characteristics of real space and making use of dynamic nature of virtual space at the same time. In order to help users who do not know how to formulate queries to find the information they need, we propose a method of information retrieval based on browsing of actual data, query formulation by multiple sample selection, and try-and-error type incremental query refinement making effective use of virtual spaces. Using Virtual-Space Media, users can spatially browse the data and automatically formulate queries by multiple sample selection. Our algorithm for determining disjunctive queries enables the users to keep on browsing and selecting samples without caring about the changes in their interests. Query results are classified and spatially presented to the users in dynamically generated virtual spaces so they can browse them and make sample selections again in order to refine their queries. We present the attribute information of objects as well as the objects themselves so the users can browse and obtain information more effectively. When one watches an object, one compares it with other objects visible in one's view. We also propose an algorithm for controlling the presentation of attribute information such that users can see the differences among the objects which come to their view. Therefore the information the users see changes as they walk through the virtual space viewing different objects. We also describe some of our implementations in order to evaluate our algorithms.

1. はじめに

インターネットにおける仮想空間の出現は、新しい情報獲得やコミュニケーションの手段を提供するに至った。仮想3次元空間を構築する有能なツールとし

† 神戸大学大学院自然科学研究科情報メディア科学専攻
Division of Media and Information Sciences, Graduate
School of Science and Technology, Kobe University

☆ 現在、株式会社 大林組 エンジニアリング本部
Presently with The Engineering Division, Obayashi
Corporation

†† 神戸大学大学院自然科学研究科情報知能工学専攻
Division of Computer and Systems Engineering, Graduate

School of Science and Technology, Kobe University

てVRML(Virtual Reality Modeling Language)¹⁾が知られており、建築シミュレーション、電子図書館、電子モール等、様々な応用が考案されている。しかし電子モール等の仮想空間の多くは単一で静的な空間しか提供することが出来ず、その情報に関しても同様のことが言える。単一で静的な情報のプレゼンテーションは、ある情報を理解するのに必要な専門的知識を享受しない人々にとっては不可解なものになってしまう危険性がある。

情報の空間的管理²⁾という概念はMITのメディアラボによって提案されている。我々は質問形成のため空間ブラウジングを取り入れ、3次元仮想空間を用いた情報探索手法³⁾⁴⁾⁵⁾の開発に取り組んできた。本論文で我々は仮想空間メディアを用いた情報検索支援機構を提唱する。

仮想空間を用いた情報提示やシミュレーションは、様々な分野で盛んである。我々はその仮想空間を情報検索のためのメディアとして活用することに興味をもっている。仮想空間メディアとは、仮想空間の特性を活かし、情報検索や情報提示等の情報の管理や操作を行うための媒体となるものとして位置付けている。古くから情報を格納し展示する器として、図書館や博物館が存在していたように、人間は空間に関連づけることにより大量の情報を扱ってきた。我々はインターネット上に出現した仮想空間内で情報を管理することを目指している。我々は実空間の特徴を効果的に継承することと同時に、物理的な制約のない仮想空間特有の特徴も十分に活かすことにより、仮想空間メディアを形成しようと考えている。情報の空間的管理を考えた場合、仮想空間において考慮すべき事項を列挙する。

(1) インタラクション

図書館で本を手にとって開くといったインタラクションを仮想空間内でも同様に行うことは可能である。しかし、検索における質問形成、結果表示、質問修正等をいかに空間生成に結びつけるかが課題である。

(2) 動的な空間構築

基本的には静的な実空間とは異なり、仮想空間は動的に構築することが可能である。問題は情報検索に適した仮想空間の構築である。

(3) 属性情報の重畳表示

実空間と同様に、仮想3次元空間を構築した場合、ユーザは自由にその空間内を散策すること

ができる。しかし、ウォークスルーのみでは情報検索に不十分である。実空間では店舗の看板のように、物体の属性情報を表示することがある。仮想空間内でも属性情報の視覚化制御アルゴリズムさえ与えれば、属性情報を空間的に提示することが可能となる。情報検索に貢献する情報提示が課題である。

我々は仮想空間の特性を活かし、情報探索を補助する機構の提案を目的としてきた。特にユーザの検索目的が曖昧で、質問の意図も不明確であるようなケースを想定した。効果的な検索を行うためには、適切な質問をつくる必要がある。しかし適切な質問をつくるには、質問をつくるだけの予備知識が必要となる。また、質問も一度にユーザの意図を反映した正確なものをつくることは困難と思われる。

2章では関連研究を紹介し、3章では我々の提唱する基本コンセプトについて述べる。4章では複数サンプル選択による質問形成の具体的なアルゴリズムを説明し、5章では空間生成のアルゴリズム、6章では位置依存属性提示アルゴリズムについて述べる。7章では本論文のまとめと今後の課題を述べる。

2. 関連研究

2.1 ブラウジングと検索

情報にアクセスするユーザ・インタフェースのアプローチとして、ブラウジングと検索がある。ブラウジングは情報の集合内の概覧やナビゲーションを可能にするが、情報の量が膨大になると作業が困難になる。検索はデータベースからの集成的問い合わせを可能にするが、質問形成が困難になる場合がある。多くの研究者は両者が補完しあうことが可能だと考えているが、情報探索に於ける”Browsing”と”Search”の役割についてG.Furnasは、この対照的なインタラクションを”Navigation”と”Query”と呼び、次の4つの組み合わせを提示している⁶⁾。

(1) navigation-by-query

質問を発しながらナビゲーションの目的地を決める。

(2) query-by-navigation

ナビゲーションによりデータのある部分を選択し、問い合わせを行う。

(3) post-query-navigation

検索結果の集合内をナビゲートする。

(4) query-initiated-navigation

問い合わせにより出発点を決め、ナビゲーションを開始する。

上記では検索 (query) が中心的事項の1つとなっているが、我々はこれとは異なり、質問形成 (query formulation) をナビゲーションの中で行っていくことを考えている。すなわち、質問形成もナビゲーションも、情報探索のための行為としてとらえ、仮想空間というメディアを導入することで、両者を統合し、ナビゲーションにより質問形成 (query formulation by navigation) が可能となることを目指している。

我々の”Browsing”もしくは”Navigation”とは、カーナビゲーションシステムのようにある地点から目的地までの順路を示すことが目的である訳ではない。我々はブラウジングを通して質問をつくり、更に検索結果もブラウジングして質問修正するという方法をとっている。また、検索対象のデータ自体を把握するために仮想空間メディアというものを提唱し、視野内に写るオブジェクトの共通点や差異等といった情報をよりよく理解するための行為として位置付けている。

2.2 仮想3次元空間を用いた情報の視覚化

ソニー CSL は仮想3次元空間を用いて情報の視覚化を行うために”The Information Cube”⁷⁾ というものを提案している。これは階層性をもったデータを視覚化するために、包含関係をもつ半透明の箱を用いて情報を表現するシステムである。ディレクトリを表現する半透明なキューブの中には、階層的な関係にあるディレクトリやデータが3次元グラフとして呈示される。あるキューブの中に入ると下の階層にあるディレクトリが順に透けて見えるしかけになっており、全体像を見失わずにユーザは直感的にデータの内容を知ることができる。インタラクションにはデータグローブを用いり、ボックス間の移動もナビゲーションを考慮して移動も縮尺変更もゆっくりと行われるようになっている。

”The Information Cube”は全体と部分の関係を考慮した視覚化を行っており、空間内では基本的に距離によってディレクトリを意味するキューブの透明度を変化させることにより、視覚化制御を行っている。我々の考案する仮想空間メディアにおいては、全体と部分の関係は考慮されていない。しかし、距離による視覚化制御は行っている。そしてその制御方法としては画像やCGのように詳細度制御という方法をとっており、距離に加え、方向と差異に基づき情報呈示を制御して

いる。

2.3 マルチメディア情報の視覚化と空間ブラウジング

マルチメディア情報の検索に仮想3次元空間を活用しようとする研究が進んでいる。Philips の Spatial Browsing Project⁸⁾ では、デジタル放送時代に備え、大量のマルチメディア情報をユーザが積極的に検索できる3次元ユーザ・インタフェースの研究開発が行われている。当研究の目標は以下の3つである。

- (1) 大規模データベース内のマルチメディア情報の視覚化、ブラウジング、及びナビゲーション
- (2) 実世界のインタラクションと空間認識パラダイムの情報空間への応用
- (3) ネットワーク環境での電子情報空間の構造化

基本概念は60年代に建築や都市計画の分野で研究の進められていた cognitive mapping に基づいている。Kevin Lynch は、その著書「都市のイメージ」⁹⁾の中で、都市の記憶の大枠を構成する要素として次の5つを挙げ、複雑で空間的な広がりをもつ都市の姿をとらえようと試みた。

- (1) Landmark: 塔等の目印
- (2) Path: 大通りや鉄道等の交通路
- (3) Edge: 空間の縁
- (4) Node: 交差点や駅等の交通の輻輳する結節点
- (5) District: 盛り場等特徴ある人間活動の面状の広がり

Spatial Browsing Project⁸⁾では、人間の空間認識と情報空間等の抽象的環境に関係を持たすことにより、ユーザが都市景観を眺めるように、情報のランドスケープを視覚的に体験できるような3次元の情報環境の構築が行われた。ここで注目すべき点は、大量のデータを視覚化し、ブラウジングし、必要な情報を獲得するために、ランドスケープのメタファが用いられていることである。しかし問題としては、Kevin Lynch の認知マップをモチーフとしたメタファをいかに仮想空間生成に用いるのかということが残る。また、当プロジェクトは大量データの概覧に主眼が置かれており、それらの情報を同じ仮想空間内でいかに問い合わせをつかって検索するのかという課題も存在する。

2.4 情報の視覚化と検索

MIT は視覚化ツール及び視覚的検索言語として活用可能な”InfoCrystal”¹⁰⁾を考案している。Boolean

検索とベクトル空間検索の両方をグラフィカルに指定することが可能となっており、ヴェン・ダイアグラムをアイコンック・ディスプレイに変換したものをインターフェースとして用いている。三角形の各頂点にボーダー・アイコン、中央にはインテリア・アイコンがあり、それらに特徴量をもたせ、それら进行操作することにより、質問を形成することができ、また検索結果を2次元空間内に呈示することもできる。

我々はオブジェクトを仮想空間内に配置し、空間ブラウジングとサンプル選択という行為によって質問形成が可能な環境を生成する機構を提案しているが、視覚化と質問形成の両方に仮想空間が用いられている点で共通している。しかし、我々は視覚化の際、抽象化は行っておらず、オブジェクト自身を呈示し、また配置の基準となる要素としてもユーザがアドホックに選択するサンプルを用いている。

2.5 拡張現実ハイパーメディアシステム

“Name-at”¹¹⁾とは、遠隔ライブビデオに空間情報を合成し、遠隔現実空間をクリッカブルな世界にする拡張現実ハイパーメディアシステムである。ビデオ映像に映し出されたオブジェクトには属性情報が呈示され、ズームインすると、より詳細な情報が得られるというものである。この研究は拡張現実に関する研究であるが、映像情報に属性情報を重畳表示するという意味では仮想空間メディアで行っている情報呈示に共通する部分がある。映像情報だけではなく、属性情報の呈示の部分においても、遠いものは粗く、近いものは詳細に見えるという特性を用いて表示制御を直感的なものにしている。我々は実空間において人が情報を得る方法を、仮想空間メディアにおける情報呈示に反映させることを試みた。

2.6 情報散策インターフェース

仮想博物館の3次元インターフェースの操作性の研究¹²⁾がNECによって行われている。この研究では、情報が有向グラフとして構成される「情報空間」と、それらの情報がある一定の詳細度で実空間メタファを用いて表現した「仮想空間」が空間生成に用いられている。情報散策の種類としても、次のものが用意されている。

(1) 空間配置による散策

詳細度が一定の実空間メタファに基づいた仮想空間内の散策

(2) 詳細度による散策

ある情報をより細かく見る等、詳細度を変えることによる散策

(3) 関連情報による散策

詳細度を問わない関連性による散策

この他、例えば自動車等のオブジェクトを見る場合に、あらかじめ用意された自動ウォークスルーを体験できるようなしくみも用意されている。これは情報の空間的管理であり、詳細度による情報の視覚化制御でもある。

我々は、属性情報の呈示の際、実空間でオブジェクトを眺めるのと同様に視野内のオブジェクトを比較してその共通点や差異を強調して示すといったことを目指している。これにより、ウォークスルーする仮想空間や並んでいるオブジェクトの種類が異なれば、たとえ同じオブジェクトであっても、異なる情報が見えたり、それぞれのオブジェクトが区別できたりすることになる。また、仮想空間内のインタラクションで質問と検索結果を提示するための仮想空間の自動形成も考えている。

2.7 コンテンツ提示のパーソナライゼーション

ATR 知能映像通信研究所では博物館展示のパーソナライゼーションに関する研究¹³⁾が行われている。この研究では専門家と鑑賞者の知識、興味、観点の差を理解させあい、展示をパーソナライズすることがテーマとなっている。方法としては、Exhibition Space, Visitor's Space, Personalized Spaceの3つの空間を想定し、専門家と鑑賞者の知識、興味、観点等をもとにオブジェクトを空間的に提示している。類似性の高いオブジェクトは接近しているが、学芸員の知識が反映されたExhibition Spaceと、鑑賞者の興味が反映されたVisitor's Spaceでは、両者の見解に差があるため、オブジェクトの空間的關係はそれぞれの空間で異なっている。両者を統合したものがPersonalized Spaceであり、ここでは鑑賞者の狭く浅い知識が、専門家の広く深い知識によって補われている。紹介されている例では、Exhibition Spaceで鑑賞者が「貴族文化」、「大衆文化」等の展示のテーマ(属性)をいくつか選択すると、それらのテーマに関係するキーワードを有するテーマの展示が、類似度に基づき再配置されVisitor's Spaceが生成される。さらに「パーソナライズ」すると、選択されたテーマの展示に含まれる学芸員のコメントから、鑑賞者の興味を間接的に反映しているとみなされるテーマの展示もレコメンドされ、Personalized Spaceが生成される。

我々もこの研究と同様にパーソナライゼーションを目指しているとも言える。しかしPersonalized Spaceにおいて学芸員の知識も反映された情報提示が行わ

れているのに対し、我々はユーザ自身の興味の揺らぎを自動的に検出して質問形成に反映させるというアプローチをとっている。また、質問形成や修正等のインタラククションを行うのは3次元仮想空間内であり、ユーザの行う行為はブラウジングとサンプル選択のみである。

2.8 半構造データと属性情報呈示

情報メディアを形成するにあたっては、様々なデータを呈示して質問形成を支援しなければならない。半構造データは多くの研究で取り上げられている。博物館等の収蔵品の属性データは、施設毎、あるいは組織毎に統一されているが、複数の施設の収蔵品を統合して扱おうと考えると、半構造データとして処理する必要性が生じてくる。*DataGuides*¹⁴⁾ は数ある半構造データに関する研究の中でも、半構造データから動的スキーマを生成するツールとしてよく知られている。このようなツールは共通の構造を見出すのに有効と思われる。視野内のオブジェクトの属性情報の共通点を見つけたり、差異を見つけたりした上で、その部分を強調するという視覚化制御を我々は提案しようとしている。しかし、我々の目的はスキーマ生成ではなく、階層型データの共通点と差異の発見である。

3. 基本概念

3.1 仮想空間メディア

インターネット上には、電子モールや電子図書館等膨大な量の情報が存在している。しかし、これらのデータに関する予備知識なしでは、的確な質問をつくるだけの情報がない。我々の提唱する仮想空間メディアでは、これらの情報を分類し空間メタファを用いて空間配置し、サンプル選択というインタラククションによって問い合わせが可能となる。問い合わせの結果は新たに生成される仮想空間内に呈示され、ユーザは再びブラウジングとサンプル選択という行為を繰り返し、試行錯誤しつつ質問を洗練させていくことができる。質問を段階的に洗練させていった結果、煩雑で膨大なオブジェクトを呈示していた仮想空間は、ユーザの基準で検索されたものが並び、パーソナライズされたものになる。

仮想空間メディアの機能としては主に次の機能を提案する。

(1) 質問形成機能

複数サンプル選択というインタラククションにより、質問が自動形成できる。サンプル選択と検索結果のブラウジングの繰り返しにより、質問

は段階的に洗練されていく。ユーザがウオークスルーしてサンプル選択する際に、あれも欲しい、これも欲しいという興味の揺らぎを想定し、ユーザの発する質問が論理和型質問であるかどうかを判定する機能も考案した。

(2) 空間生成機能

検索対象となるオブジェクトを空間的に呈示するための仮想3次元空間を動的に自動生成する。検索されたオブジェクトは類似度に基づき空間配置される。ユーザはその空間の中を自由にウオークスルーできる。将来的には、検索対象データの量が膨大になった場合を想定し、都市のランドマークのようなナビゲーション支援機能も考えている。

(3) 属性情報呈示機能

オブジェクト自身を表示すると同時にその属性情報も空間的に呈示する。属性情報呈示は視野に依存しており、視野内にあるオブジェクトの属性情報を比較し、その共通点と差異を強調して表示する。

図1は仮想空間メディアの概念を示した図である。ユーザはまず質問をつくる前にオブジェクト自体をブラウジングし、気に入ったサンプルを複数選択する。すると選択されたサンプルから検索式が生成され、検索結果は新たに生成される仮想空間に呈示される。ユーザは再びブラウジングを行い、質問の修正を行う。その際、遠くからいくつものオブジェクトを眺めている場合と、近くで数個のオブジェクトを観察している場合では、視野内のオブジェクトが異なるため、呈示される情報が異なる。

4. 複数サンプル選択による質問形成

4.1 質問形成

我々の提案では、基本的に次の作業を繰り返すことにより情報探索を行う。

(1) 空間ブラウジング

ユーザは仮想空間内に空間配置されたデータを見て回り、興味のあるものを探す。

(2) 複数サンプル選択による質問形成

ユーザは興味のあるサンプル・オブジェクトをいくつか選択することによって、システムが質問を自動的に形成する。

(3) 検索結果表示のための空間生成

検索されたオブジェクトが動的に生成された仮

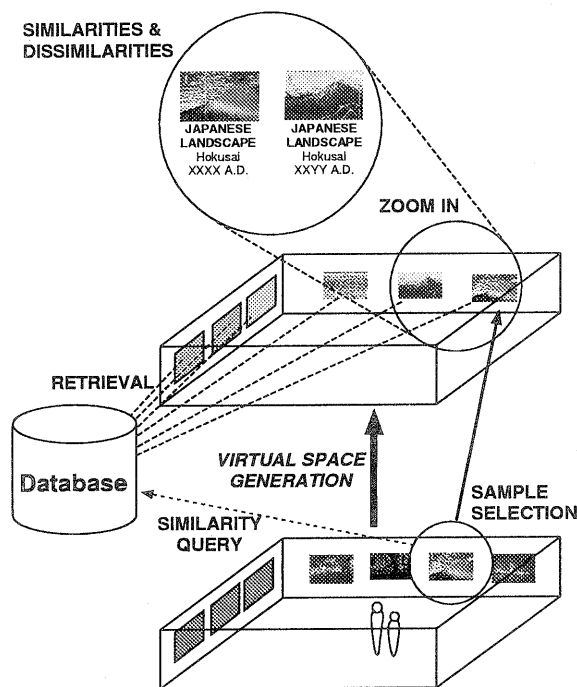


図1 仮想空間メディアの概念図

Fig. 1 Virtual-Space Media Concept

想空間内に空間配置され、ユーザは結果と自分の質問を検証し、再び空間ブラウジングに戻る。

この方式の特徴は、上記のプロセスが繰り返されることにある。これはユーザの発する質問が、ユーザの選択したサンプルによってのみ形成されるからである。質問はサンプルに似たオブジェクトを探すという類似検索であるが、繰り返し行われる空間ブラウジングの中で、サンプルが追加、あるいは削除され、質問はよりユーザの興味を反映した洗練されたものへと段階的に変っていく。

この方式のもう1つの特徴は、質問形成と仮想空間生成が連動し、自動形成されることにある。質問式が実行されると、質問式に適合したオブジェクトが検索されると同時に、それらのオブジェクトを提示するための空間も自動的に生成される。よってユーザがサンプルを1個、あるいは複数個選択して問い合わせを行うためサンプルの確認を行うと、検索と空間生成が連動して行われ、検索されたオブジェクトを格納する新たな空間が自動的にユーザの前に出現する。

空間生成にあたっては、ユーザがサンプルを選択する際、必ずしも正確に決断ができるとは考えにくいので、質問をキャンセルしてもとの空間に戻れるような、思考錯誤型の情報検索を考える。また、サンプル

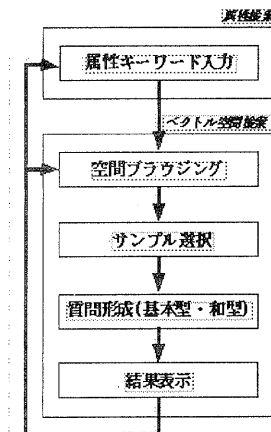


図2 質問形成

Fig. 2 Query Formulation

選択する際に迷いが生じ、「あれも欲しい、これも欲しい」という具合に目的の曖昧な質問が発せられている可能性があるため、ユーザが選択するサンプルから、ユーザの検索目標が1つであるのか、あるいは検索目標が2つ以上であるのかを自動的に判定するアルゴリズムを考案した。図2の基本型の質問形成とは、目標が1つの場合の検索式で、和型の質問形成とは、目標が複数の場合の検索式である。このアルゴリズムにより、ユーザは意図的に整理することなく、自由にサンプル選択を続けることができる。

質問形成のフローを図2に示す。初期状態ではユーザの興味は分からず、WWW上の全ての情報を空間ブラウジングすることは非常に効率が悪く、現実性がないと思われるので、簡単な属性情報による問い合わせで、空間ブラウジングする領域を特定することを考えている。

4.2 検索式の形成

複数サンプル選択による質問形成を行うために、ベクトル空間モデル¹⁵⁾を用いる。ベクトル空間モデルは画像や全文などのデータベースにおける類似検索に対して非常に有効な手法である。ここでは検索対象となるオブジェクトに対し活用する。ベクトル空間モデルによる文献検索では文献と検索式の両方が、個々の次元が索引語に対応する m 次元特徴ベクトルとして表されている。美術品等の所蔵物の場合、その解説文等から特徴語を切り出し、その語の相対出現頻度と逆文献頻度の積 $tf \times idf$ (relative term frequency) を用いることができる。また、お互いに独立した印象語に対する適合度を要素とする特徴ベクトルも用いることができる。本稿でもオブジェクトに対する印象をもと

に、特徴ベクトルを用意し、試作システムの実装に活用した。

ベクトル空間モデルでは、質問自体もベクトルで表される。これを検索式ベクトルと呼ぶ。検索式ベクトル \mathbf{q} は次式で表されるように、サンプルとして選択された n 個 ($n \geq 1$) のオブジェクト $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(n)}$ の特徴ベクトル $\mathbf{d}^{(1)}, \mathbf{d}^{(2)}, \dots, \mathbf{d}^{(n)}$ の平均値を求めることで得られる。

$$\mathbf{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{d}^{(i)} \quad (1)$$

ベクトル空間モデルでは、検索式ベクトルとオブジェクトの特徴ベクトルとの類似性の尺度として、コサイン相関値が使用される。類似度の判定には次式で表されるコサイン相関値を用いることにする。

$$\text{Similarity}(\mathbf{q}, \mathbf{d}) = \frac{\mathbf{q} \cdot \mathbf{d}}{\sqrt{\sum d_i^2} \sqrt{\sum q_i^2}}, \quad (2)$$

$$0 \leq \text{Similarity}(\mathbf{q}, \mathbf{d}) \leq 1 \quad (3)$$

d_i : 記述情報中の語 i の重み $tf \times idf$

q_i : 質問式に於ける語 i の重み

$\text{Similarity}(\mathbf{q}, \mathbf{d}) = 1$ の時に類似度は最大となる。しかし 1 という条件は厳しすぎるため、次式のような閾値 w を設け、類似オブジェクトの検索を行う。

$$w \leq \text{Similarity}(\mathbf{q}, \mathbf{d}^{(i)}) \leq 1 \quad (4)$$

ユーザの興味が揺らぎ、「あれも欲しい、これも欲しい。」といった選択が行われる可能性については述べた。選択した n 個のサンプル群が類似の特徴をもつ場合、これらの平均をとったものを検索式ベクトルとする。これを「基本型質問」と呼ぶことにする。

基本型質問

$$\mathbf{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{d}^{(i)} \quad (5)$$

選択した n 個のサンプル群が類似性により k 個 ($n_1, n_2, \dots, n_k, (k \geq 2, n \geq n_1 + \dots + n_k)$) のグループ G_1, G_2, \dots, G_k に重複を許して分割できる場合、各グループ内のサンプルの特徴ベクトルの平均を論理和の形でつないだものを「和型質問」と呼ぶことにする。

和型質問

$$\mathbf{q} = \mathbf{q}^{(1)} \vee \mathbf{q}^{(2)} \vee \dots \vee \mathbf{q}^{(k)} \quad (6)$$

ただし、

$$\mathbf{q}^{(i)} = \frac{1}{n_i} \sum_{\mathbf{d} \in G_i} \mathbf{d} \quad (7)$$

4.3 和型質問の形成

ユーザが空間ブラウジングをしながらサンプル選択をする際、ユーザの興味が揺らぐ可能性については述べた。ここでは、ユーザの選択したサンプルが「基本型質問」であるのか、「和型質問」であるのかを自動的に判定するアルゴリズムを提案する。この方法でユーザは意図的に自分の質問をあらかじめ整理することなく、気の向くままサンプルを選択することができる。

方法としては、ユーザの選択するサンプルの特徴ベクトルの成分に注目し、成分に共通点の多いオブジェクトの特徴ベクトルをグループとしてまとめ、検索式ベクトルを生成する。図 3 はサンプルの特徴ベクトル集合で構成された束構造であるが、この構造を段階的に操作し簡略化することで検索式ベクトルを求める。まず特徴ベクトルをグループ分けするために、グループ分けするための条件を次のように定義する。

グループ分けの条件:

束構造を構成する巾集合の各要素であるサンプルの特徴ベクトル $\mathbf{d}^{(1)}, \mathbf{d}^{(2)}, \dots, \mathbf{d}^{(k)}$ の成分の中で、共通して閾値 δ を越える成分と、共通して閾値 δ を下回る成分の数の和が、閾値 θ 以上である場合、その巾集合の要素を構成する特徴ベクトルは「共通項を持っている」と見なす。

$$h + l \geq \theta \quad (8)$$

h : 共通して閾値 δ を越える特徴ベクトルの成分の個数

l : 共通して閾値 δ を下回る特徴ベクトルの成分の個数

例えば、選択されたサンプルの特徴ベクトルが以下のようであったとする。

$$\mathbf{d}^{(1)} = (1, 8, 8, 8, 0, 1, 8, 0, 1, 1, 8, 0)$$

$$\mathbf{d}^{(2)} = (8, 8, 8, 8, 1, 8, 8, 0, 1, 1, 8, 8)$$

$$\mathbf{d}^{(3)} = (1, 1, 1, 1, 8, 1, 0, 8, 0, 8, 8, 1)$$

閾値 $\delta = 5$ 、閾値 $\theta = 8$ であった場合、 $\mathbf{d}^{(1)}$ と $\mathbf{d}^{(2)}$ は共通して δ より高い成分を 5 つ持ち、共通して低い

成分を4つ持ち、両者の和が9、すなわち閾値 $\theta = 8$ 以上になっているため、共通項を持っていると言える。 $\mathbf{d}^{(3)}$ は共通項を持っていないということになる。

次に検索式形成のための具体的な束構造の操作について述べる、図3に、選択されたサンプルの特徴ベクトル集合の巾集合の要素の包含関係を表す束構造を示す。

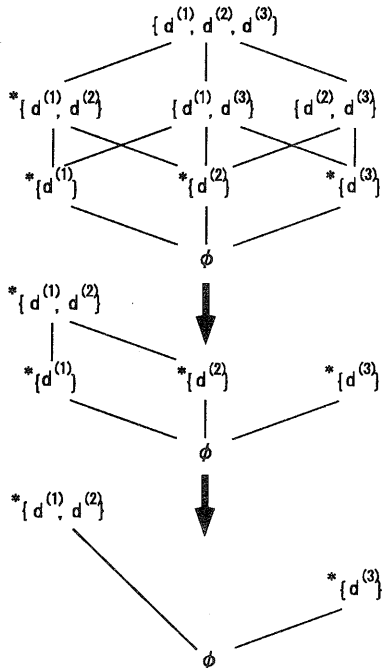


図3 巾集合の束構造とその簡略化

Fig. 3 Trimming the Lattice Structure of A Power Set

図3の1番上が最初の束構造の姿である。グループ分けの条件を満たしていることを示す*印のない特徴ベクトル集合が消去され、束構造が簡略化されていく。束構造の操作手順を順を追って説明する。共通項は(8)式に従い発見的に見つけられるため、この操作を発見的グループ分けアルゴリズムと名付けた。

発見的グループ分けアルゴリズム

- (1) サンプルの特徴ベクトル集合の巾集合で束構造を作る。そしてそれぞれの特徴ベクトル集合がグループ分けの条件を満たしているかどうかを判定する。図3では*印のあるものは条件を満たしている。もし特徴ベクトル集合が1つの要素からなる場合は、無条件に条件を満たしているものとする。
- (2) 極小元である ϕ を除くグループ分けの条件を満

たさない全ての特徴ベクトル集合を消去する。図3の中央では束から*印のない特徴ベクトル集合が消去されている。

- (3) 最後に極大元と極小元 ϕ からなる構造を作るための束の簡略化を行い、結果として残った極大元の論理和をとり和型質問を構成する。図3下段では2つの空でない特徴ベクトル集合が残り、これらが検索式を形成するのに用いられる。

図3の例では、束構造の簡略化により、次の2つの検索式が形成される。

$$\begin{aligned} \mathbf{q}^{(1)} &= \frac{1}{2}(\mathbf{d}^{(1)} + \mathbf{d}^{(2)}) \\ \mathbf{q}^{(2)} &= \mathbf{d}^{(3)} \end{aligned} \tag{9}$$

最終的には、検索式 \mathbf{q} は次の通りになる。

$$\mathbf{q} = \mathbf{q}^{(1)} \vee \mathbf{q}^{(2)} \tag{10}$$

質問形成はサンプルが追加、あるいは削除される度に段階的かつ加算的に形成される。よって次式のように選択されたサンプル A_{n+1} の特徴ベクトル $\mathbf{d}^{(n+1)}$ を足したり、あるいは消去したいサンプル A_i の特徴ベクトル $\mathbf{d}^{(i)}$ を引いたりすることにより、質問式ベクトルを形成する。

$$\mathbf{q}' = \frac{n\mathbf{q} + \mathbf{d}^{(n+1)}}{n + 1} \tag{11}$$

$$\mathbf{q}'' = \frac{n\mathbf{q} - \mathbf{d}^{(i)}}{n - 1} \tag{12}$$

束構造の操作がサンプル追加と削除の際に行われるかを例をもって説明する。

● サンプル追加

$\mathbf{d}^{(1)}, \mathbf{d}^{(2)}, \dots, \mathbf{d}^{(k)}$ を特徴ベクトルを持つサンプル $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(k)}$ が既に選択されていたとして、簡略化された構造 L_k が存在したとする。サンプル $A^{(k+1)}$ が選択された場合、該当する特徴ベクトル $\mathbf{d}^{(k+1)}$ が追加され、アルゴリズムにより再び簡略化が行われる。

(図4が図3で簡略化された束構造に $\mathbf{d}^{(4)}$ が追加されたプロセスを示している。 $\{\mathbf{d}^{(4)}\}$ と $\{\mathbf{d}^{(3)}, \mathbf{d}^{(4)}\}$ の3つの集合はグループ分けの条件を満たしているものとする。)

● サンプル削除

サンプル $A^{(i)}$ が削除されると、該当する特徴ベクトル $\mathbf{d}^{(i)}$ が $\mathbf{d}^{(i)}$ を含む検索式より削除され、質

間は残った集合のみから形成される. $d^{(i)}$ を含まない問い合わせに関しては変更はない. (図 4 は $d^{(2)}$ が削除された際のプロセスを示している.)

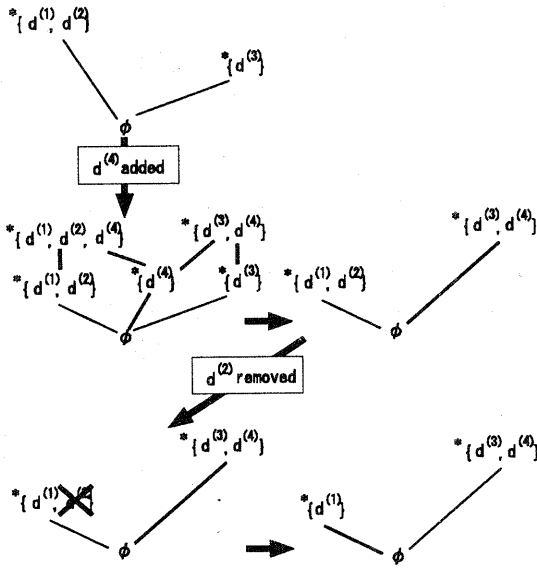


図 4 段階的簡略化
Fig. 4 Incremental Simplification

また, 単に特徴ベクトルの平均を求めるのではなく, グループ分けの条件を満たす特徴ベクトルの共通成分上の空間に射影する方式も考えられる. すなわち, $d^{(1)}, d^{(2)}, d^{(3)}$ の共通成分が t, u, v であった場合, 検索式は次の通りになり, 計算量を軽減できる.

$$q = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \Pi_{t,u,v} (d^{(i)}) \quad (13)$$

検索式の空間の次元は特徴ベクトルの共通要素の数と同じになり, 検索式と比較されるサンプル以外のオブジェクトの特徴ベクトルも, 検索時には t, u, v 成分からなる空間に射影されることになる.

図 5 は空間ブラウジングのために生成された仮想空間の例である. この仮想的な「部屋」の中には検索対象となるオブジェクトが並んでいる. この例では家具で, ユーザは自由にウォークスルーを行い, 気に入ったものを選び, 質問をつくり, 類似した家具を検索することができる. 検索結果は質問形成と同時に自動生成される新たな仮想空間内に配置され, ユーザは再びブラウジングを行って質問修正を行う.

本試作システムは Windows95 上で稼動し, Cosmo Player 2.1 plug-in 付の Netscape Communicator

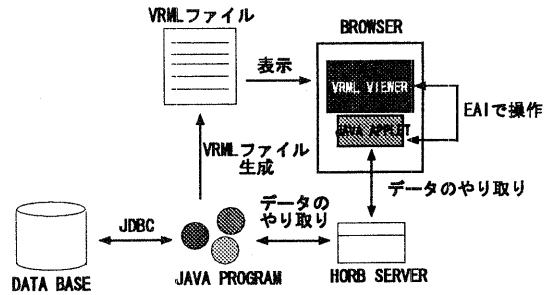


図 6 システム構成
Fig. 6 System Architecture

4.06 をブラウザとして活用している. データベースには PostgreSQL が用いられ, プログラムは Java, JDBC, HORB を用いて実装された. 図 6 にシステムの構成を示す. 試作システム実装にあたっては, 3次元の VRML オブジェクトとそれぞれに対応する特徴ベクトルを用意した. VRML ブラウザから EAI(External Authoring Interface), Java Applet を用いてサンプルの追加, 削除を行い, サンプルの情報が HORB を利用したサーバを通して JAVA プログラムに送られ, データベースにアクセス (JDBC を利用) すると, VRML ファイルが生成され, 新しい空間が構築される (図 6 参照).

5. 空間生成のアルゴリズム

オブジェクトは動的に自動生成される仮想空間に類似度をもとに自動配置される. 空間ブラウジングしつつ, サンプル選択により質問をつくるという行為により情報探索を行うという本方式では, 空間生成と質問形成が密接に関係している. 仮想空間メディアでは, 質問の検索結果はあらたに生成される仮想空間内に空間配置され, 適合フィードバックも仮想空間内で行われる.

空間配置のアルゴリズムは図 7 で示す通りである. 選択されたオブジェクトは空間配置の基準として三角形をしたプレート上の頂点に配置される. 検索されたオブジェクトは, それぞれのサンプルに対する類似度に基づき配置される. 三角形の中にオブジェクトを配置していくため, 「三角形」レイアウトメカニズムと名付けた.

配置アルゴリズムとしては, 異なるバネ定数 (類似度に比例) を持った無限小のバネを各サンプルから引っ張り, 釣り合った位置がそのオブジェクトの位置になるようになっている. よって 3つのサンプルのうち, 1つのサンプルへの類似度が高ければ, そのサンプルに強い力で引っ張られるため, 配置も接近する. 各サ

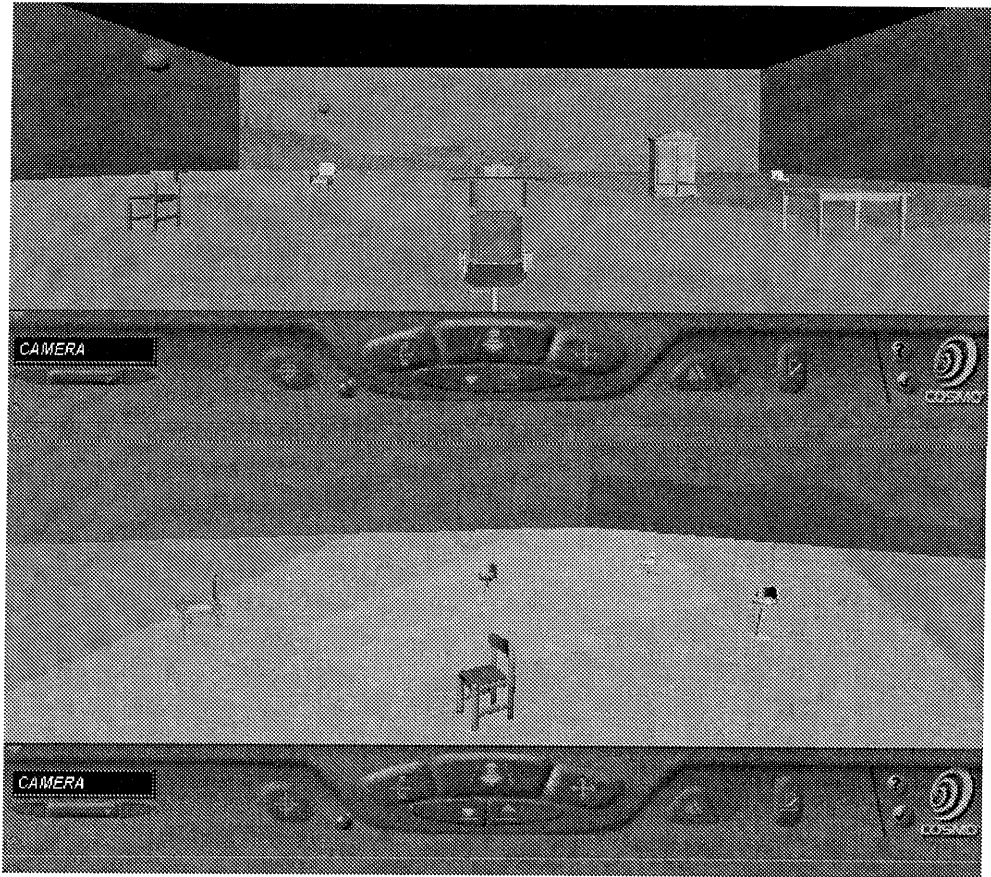


図5 オブジェクトの空間的表示と複数サンプル選択
Fig. 5 Spatial Presentation of Objects and Multiple Sample Selection

サンプルへの類似度が均等に高ければ、配置は正三角形の中央になる。バネ定数のアルゴリズムは次の式で表すことができる。

$$F_A = k_A l_A, F_B = k_B l_B, F_C = k_C l_C \quad (14)$$

ここで、 $F_u(u : A, B, C)$ は各頂点がオブジェクトを引っ張る力の強さ、 $k_u(u : A, B, C)$ は基準値との類似度、 $l_u(u : A, B, C)$ は各頂点からの距離である。 F_u の x 方向成分、 y 方向成分の和が 0 となる座標がそのオブジェクトの位置となる。オブジェクトの x, y 座標を $X, Y (0 \leq X \leq 2, 0 \leq Y \leq \sqrt{3})$ とすると、

$$l_A = \sqrt{(1-X)^2 + (\sqrt{3}-Y)^2} \quad (15)$$

$$l_B = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (16)$$

$$l_C = \sqrt{(2-X)^2 + Y^2} \quad (17)$$

(14),(15),(16),(17) 式から、

$$X = \frac{1 + 2k'_B}{1 + k'_B + k'_C}, Y = \frac{\sqrt{3}}{1 + k'_B + k'_C} \quad (18)$$

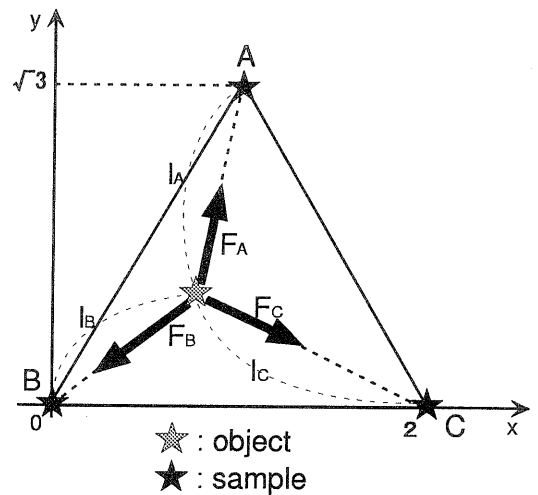


図7 「三角形」レイアウトメカニズム
Fig. 7 "Triangle" Layout Mechanism

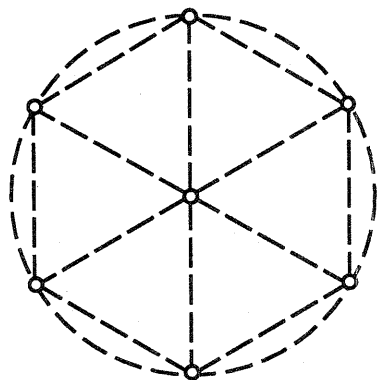


図9 レイアウトメカニズムの拡張の例
Fig. 9 An Extension of Layout Mechanism

となる。

k'_B, k'_C は k_A との比である。類似度 k_u はそれぞれのオブジェクトが持つ情報を数値化したものから求められる。

空間的適合フィードバックにより、サンプルと検索されたオブジェクトが類似度の高い順に配置されるので、それぞれのサンプルの傾向が表われ、選択したサンプルがユーザの欲しいものかどうか、より明確化されると考える。ユーザは検索結果を検証した後、再び空間ブラウジングとサンプル選択のサイクルに戻る。

図8はこのレイアウト・アルゴリズムでオブジェクトを空間配置した例である。ここでユーザは家具に興味を持っており、三角形プレートの各頂点にはユーザの選択したサンプルである棚、机、椅子が配置されている。検索されたオブジェクトは、それぞれのサンプルに対する類似度に基づき配置されている。例えば、オフィス用の椅子等は「椅子」サンプルに近いところ、オフィス用のデスクは「机」サンプルに近いところ、といった具合に配置されている。三角形の中央には、この3つのサンプルに共通した特徴を持つ木目調の家具が並んでいる

図9はレイアウト・アルゴリズムを拡張した例である。サンプル数が多くなると、当然1つの三角形では足りなくなる。そこでこのように三角形を拡張していくと、サンプルが一種の目印のような形で空間を区画する役割を演じることになる。Kevin Lynchの提唱するランドマークをはじめとした要素を仮想空間に導入することは、仮想空間内のナビゲーション機能を充実させる上で重要なことであると考えており、研究も継続させる予定である。

本稿では基本的に2次元空間配置を提案している。これを3次元に拡張することも容易に可能である。例

えば、三角形の平面の代わりに正四面体を置き、その頂点にサンプルを置き、それぞれのサンプルに対する類似度に基づき検索されたオブジェクトを空間配置することは可能である。

平面的な配置のみでなく、高さを使うことは有効な面がある。視覚化方法に多様性が加わり、オブジェクトをブラウジングする際も全方位から観察することが可能となる。しかし、展示品が宙を浮くような形で呈示されるので、オブジェクトの性格によっては不自然に写る可能性も考慮しなければならない。また、個々のオブジェクトのプレゼンテーションも考慮しなければならない。

6. 属性情報の位置依存呈示

6.1 視野に依存した情報呈示

ユーザが空間的に呈示された情報をブラウジングする時、オブジェクトの色、形状、テキストチャ等の視覚的な情報は把握可能だが、オブジェクトの名称、制作年代等のその他の属性情報を見ることはできない。そこで、我々は通常見えない属性情報も、オブジェクト自身と同様に視覚化する機構を考えた。我々は空間オブジェクトの空間的情報呈示¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾に関する研究を行ってきた。3次元のオブジェクトに対し多方向からの情報記述を許し、その視覚化の制御を視点とオブジェクトの間の距離、視点の方向、並びに視野内に写っているオブジェクトの属性情報の差異に基づいて呈示情報量を制御するということを提案している。我々はこの機構をInfoLOD(Level of Detail for Information)と呼んでいる。図10は、詳細度制御の概念を従来の画像やCGに加え、属性情報にまで拡張することを示している。

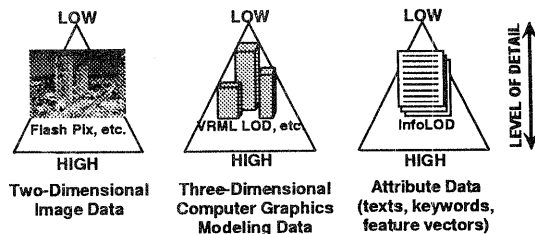


図10 イメージ、CG、属性情報の詳細度
Fig. 10 Level of Detail for Image, Computer Graphics, and Attribute Data

例えば、ミュージアムに展示されているオブジェを鑑賞することを考えてみる。展示空間は時代、スタイル等により秩序が考えられているので、オブジェの空

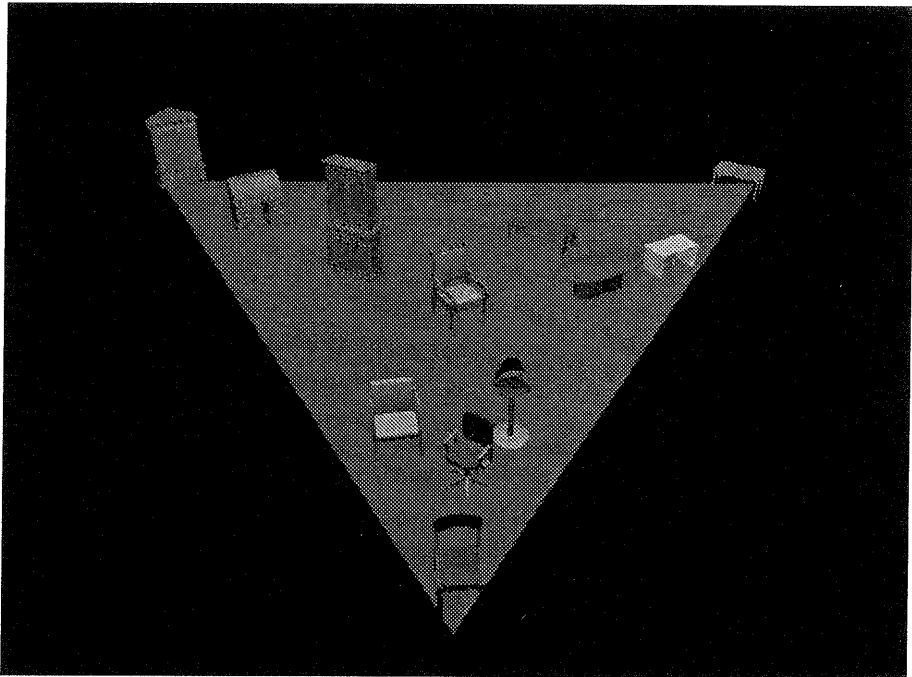


図 8 三角形配置の例

Fig. 8 An Example of "Triangle" Layout Algorithm

間配置には意味がある。図 11 のように 2 つ彫刻を見ていたとする。彫刻は 2 つとも紀元前 3 ~ 1 世紀のギリシャ彫刻であり、これは両者に共通する情報である。しかし材料、作品名称等を見ていくと差が現れてくるのが分かる。

もし視野内にこれ以外のオブジェクトが写っていたとすると、共通点や差異も変わり、区別のつけかたも変わる。よって仮想空間内をウォークスルーすれば、視野内のオブジェクトが随時変わっていくので、属性情報呈示を行う対象のオブジェクトもその内容も変わっていく。我々は、サンプル選択のために仮想空間内を空間ブラウジングする時、このアルゴリズムがユーザの選択を決断する上で有効な情報を提供するものと考えている。

属性情報の詳細度制御には距離、方向、差異の 3 つの要因を用いているが、都市空間のような均質でない地理的なオブジェクトの属性情報の視覚化も可能であると考えている。都市空間のような空間を対象とした場合、土地利用規制等の秩序が存在するものの、多様で複雑なオブジェクトが配置される可能性が高い。この場合、差異を強調することなくその差が明確に分かる場合がある。例えば、オフィスビルとモニュメントは用途や視覚的な特徴もかなり異なり、差異を呈示しなくても、その差異は明確である。

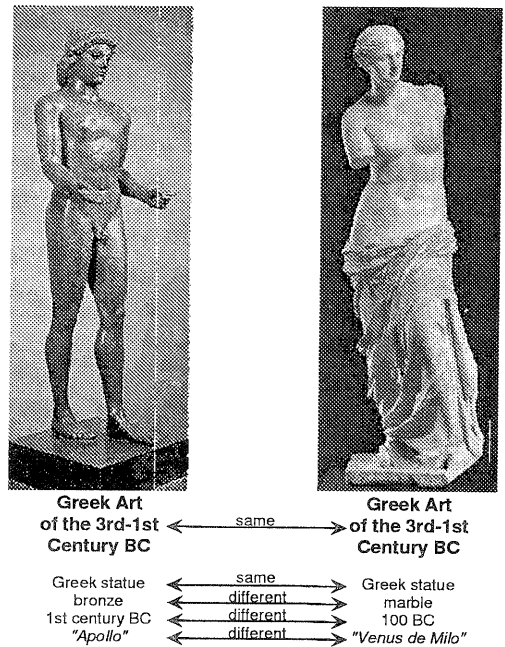


図 11 属性情報の差別化

Fig. 11 Differentiation of Attribute Data

ミュージアムのような空間に配置されるオブジェクト、あるいは本稿で提案している空間生成機構で生成される空間に配置されるオブジェクトは、専門的知識

に基づく分類,あるいはオブジェクト間の類似度を尺度に空間配置されるため,関係性の近いオブジェクト同士が近くなるように配置される可能性が高い.よって差異を呈示する際もオブジェクト同士を比較することが容易になり,また似ているもの同士の差異を呈示することは有用なものでないかと考える.

6.2 差別化呈示アルゴリズム

ここでは属性情報には階層性があるという前提を与え,差別化呈示アルゴリズムについて述べる.例えば,仮想空間内のオブジェクトが図12のような階層的属性情報をもっていたとする.同じデータを最近研究の盛んになってきたXML(eXtensible Markup Language)²⁰⁾を用いて表現すると図13のようになる.

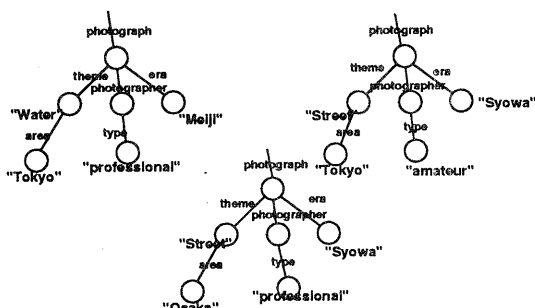


図12 InfoLODのサンプルデータ
Fig. 12 Example Data for InfoLOD

```
<photograph name="xxx">
  <theme> Water
  <area> Tokyo </area></theme>
  <photographer name="ppp">
    <type> professional </type></photographer>
  <era> Meiji </era>
</photograph>

<photograph name="yyy">
  <theme> Street
  <area> Tokyo </area></theme>
  <photographer name="qqq">
    <type> amateur </type></photographer>
  <era> Syowa </era>
</photograph>

<photograph name="zzz">
  <theme> Street
  <area> Osaka </area></theme>
  <photographer name="rrr">
    <type> professional </type></photographer>
  <era> Syowa </era>
</photograph>
```

図13 InfoLODのサンプルXMLデータ
Fig. 13 Example XML Data for InfoLOD

図12には3つの写真の属性情報が示されている.例えば,仮想美術館内を歩いていてこれらの写真を見たとする.この時写真の持つ属性情報を目にしたとき,

同じテーマで撮影されているものがあると分かる.しかし,共通のテーマを理解するだけでなく,その写真がどの場所でテーマに則して撮影されたのかが分からない.もし「街」を題材とした写真が「東京」「大阪」で撮影されたと分かれば,この二つの写真の違いのひとつに「場所」というものが考えられる.そこで類似した属性情報をもつオブジェクトの情報を呈示する際に,その差が現れる部分を探し,強調することを我々は差別化と呼んでいる.

6.3 差別化呈示アルゴリズムの概要

ここでは実際に差別化を行うための基本事項について述べる.ユーザがある視点からオブジェクトを眺めた場合,その視野内にあるオブジェクトを $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ とする.それぞれのオブジェクト o_i は階層構造をもった属性情報 $info(o_i)$ を持っている.

次に差別化アルゴリズムのフローを説明する.3次元空間内の視点の位置情報を入力すると,視野内のオブジェクトそれぞれを特徴づける階層型属性情報が出力されるというものである.

(1) 視野内のオブジェクトの特定

3次元空間内のユーザ視点の位置情報から,視野内に存在する全てのオブジェクトを求める.視野内のオブジェクトを $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ とする.

(2) 視野内オブジェクト全てに対するラベル付けグラフの生成

全ての視野内オブジェクトの属性情報をマージして,1つのラベル付きエッジグラフを生成する.すなわち,視野内オブジェクト O の属性情報 $info(o_i) (i = 1, \dots, n)$ をマージし,1つのグラフ $G(O)$ を生成する.

(3) O において最も共通性の高い属性の特定

属性情報をマージしてできたグラフ $G(O)$ の中で,最も頻繁に現れる属性 A を探す.

(4) 属性 A の下の極小サブツリーの特定

最も共通性の高い属性 A の下のサブツリーを $info(o_j, A) (1 \leq j \leq m \leq n)$ とする.そして,共通属性ツリーに対する $info(o_j, A)$ の全ての射影が異なるような極小属性ツリーを全ての $info(o_j, A) (1 \leq j \leq m \leq n)$ から探す. $info(o_j, A)$ の各射影から,冗長なデータを削除する.

6.4 差別化呈示アルゴリズムの計算例

図12の例を用いて,このアルゴリズムの各ステッ

ブを説明することにする。

(1) 視野内オブジェクトの特定

図 12 の 3 つの空間オブジェクト全てが視野内に存在するとする。 $O = \{o_1, o_2, \dots, o_5\}$ は視野内オブジェクトである 3 枚の写真となる。

(2) ラベル付グラフの生成

全ての視野内オブジェクト $o_i (i = 1, \dots, 5)$ の $info(o_i)$ から、ラベル付グラフを生成する。図 14 に示したラベル付グラフ $G(O)$ は、 O の全ての $info(o_i)$ から成っている。ここでは、エッジは属性名を表し、ノードはオブジェクト、もしくは数値を表している。

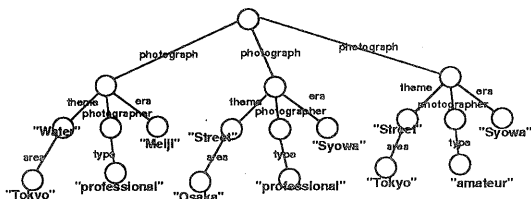


図 14 ラベル付グラフ $G(O)$
Fig. 14 Labeled-edge graph $G(O)$

(3) $G(o)$ の中で最も共通性の高い属性を特定する
次にこの $G(O)$ の中に、最も共通性の高い属性を特定する。 $G(O)$ の中で最も頻繁に現れる属性を A とする。

視野の中に $photograph, theme, era, \dots$ 等の属性がある。そこで、出現頻度と深さ、あるいは $info(o_i)$ のどの階層にその属性が存在するかに基づいて点数 s をつける。点数 s の最も高いものが、最も共通性の高い属性 A となる。点数 s は次の式で算出する。

$$s = \sum \frac{1}{depth_i} \quad (i = 1, 2, \dots)$$

$depth_i$ は深さ、あるいは $info(o_i)$ 内でその属性の存在する階層を意味する。図 14 の例では、 $photograph$ が最も共通性の高い属性 A となる。

(4) 最も共通性の高い属性の下の極小サブツリーの計算

ここでは $G(O)$ の属性 $photograph$ の下の極小サブツリーを調べ、差別化に活用することを考える。最も共通性の高い属性 $photograph$ の下のサブツリーとは、図 14 のように属性 $photograph$ の下に位置するサブツリーを意味する。属性 $photograph$ の下には 3 つのサブツ

リー $info(o_j, photograph) (j = 1, 2, 3)$ が存在する。

極小の共通属性ツリーを図 14 の 3 つのサブツリーから探すことを考える。サブツリーの極小共通属性ツリー S への射影とは、 S の属性に射影されるサブツリーの部分のことを意味する。考えられる 3 つのサブツリーの属性構造は図 15 の (1), (2), (3), (4), (5) 等になる。

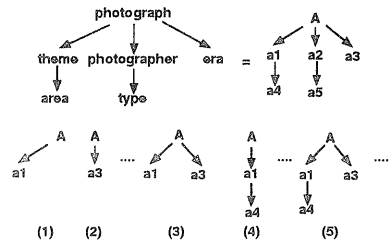


図 15 属性構造
Fig. 15 Attribute structure

例えば、属性ツリーへのこれら 3 つのサブツリーの射影 $A \rightarrow a1$ は $(null \rightarrow Water), (null \rightarrow Street), (null \rightarrow Street)$ となる。この射影はこれらのサブツリーを差別化していない。というのも同じ値 $(null \rightarrow Street)$ が射影に現れているからである。同様に $A \rightarrow a3$ も極小ツリーではない。図 15 (4) への射影は図 16 (3) である。このように 3 つのツリーの差別化ができたので、極小共通属性ツリーと見なすことができる。

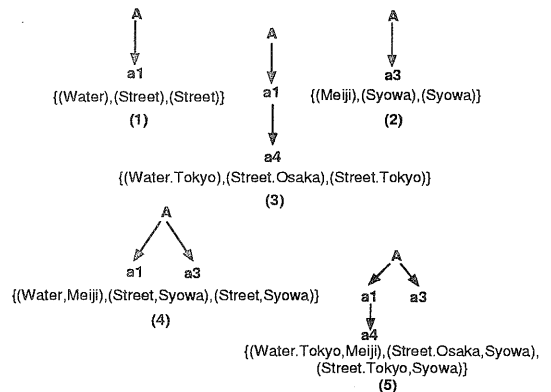


図 16 サブツリーの射影 : $(null \rightarrow)$ は省略
Fig. 16 Projections of subtrees : $(null \rightarrow)$ is abbreviated

図 16 (1),(2),(4) は極小共通属性ツリーではない。しかし (3),(5) はそれぞれを差別化できる

極小共通属性ツリーである。

このように極小共通属性ツリーが見つかった訳であるが、サブツリーの極小共通属性ツリーへの射影は冗長なデータを含む可能性がある。冗長なデータとは、サブツリーの差別化に必要でないデータのことである。図 16 (3) の (*Water.Tokyo*) の *Tokyo* は冗長である。 *Water* と *Street* が違うことが分かっているので、3つのサブツリーの差別化のために *Tokyo* を見せる必要はない。

上で述べたように、3つの写真を差別化するいくつかの極小サブツリーを得ることができる。これらの極小サブツリーを用いることにより、仮想空間の視野内で表示する差別化情報を決めることができる。

図 17 の例では、日本の風景を写した写真が仮想空間内に展示されている。それぞれの写真は時代、テーマ、撮影場所等の属性情報をもっている。図 17 の下の2つの写真は水辺の風景を撮影したものであるが、両方ともテーマは「水」で撮影場所も「京都」となっている。しかし1つは明治時代に、そしてもう1つは昭和時代に撮影されたものであるので、この時代に関する情報が差別化するものとして呈示されている

7. ま と め

本論文では仮想空間メディアという情報探索支援のための概念を提唱し、その実現に必要なアルゴリズムや試作システムを紹介した。

仮想空間メディアの機能として次のものを挙げた。

- (1) 質問形成機能
- (2) 空間生成機能
- (3) 属性情報呈示機能

質問形成の方法として次のプロセスを繰り返す段階的で試行錯誤型の機構を提案した。

- (1) 複数サンプルによる質問の段階的生成
- (2) 質問による仮想空間の動的生成とオブジェクト配置
- (3) 位置依存属性呈示

そして、空間ブラウジングを経てサンプル選択を行う際のユーザの興味の揺らぎ、そして質問修正に対応するため、次のアルゴリズムを考案し、実装した試

作システムも紹介した。

- (1) 基本型質問と和型質問の判定と形成
- (2) 空間的適合フィードバックのための空間配置

空間生成機能に関してはレイアウト・アルゴリズムを提案し、ナビゲーション機能のためのランドマーク表示等のアプローチの可能性についても触れた。

更にオブジェクトの属性情報を空間的に呈示する際、次のような基本的な操作により視野内のオブジェクトの差異を強調する差別化アルゴリズムを提案した。

- (1) 視野内オブジェクトの特定
- (2) 視野内オブジェクト全てに対するラベル付グラフの生成
- (3) ラベル付グラフにおいて最も共通性の高い属性の特定
- (4) 最も共通性の高い属性の下の極小サブツリーの特定
- (5) 差別化情報の呈示

これにより、視点を変えつつ空間ブラウジングをする際に、視野内のオブジェクトが変わる、すなわち比較対照が変わるのに応じて個々のオブジェクトの差を強調する情報呈示を行うことが可能となる。視点に応じ差別化された情報を得られる機構を考案することで、情報空間のウォークスルーの意味付けができたこと我々は考えている。

今後の課題として以下のものを考えている。

- (1) 属性質問とベクトル空間モデルによる質問の使い分け
現在、属性質問でオブジェクトを検索して空間的に呈示する試作システム(キーワード入力)と、ベクトル空間モデルによる質問でオブジェクトを検索して空間的に呈示する試作システム(サンプル選択)の2種類を独立に実装している。本稿で提案している後者のシステムの問題点は、大量のオブジェクトを対象とした場合、全てのオブジェクトを呈示して空間ブラウジングすることは困難になるということである。現状では、この2種類の試作システムを切り替えて使うという方法が考えられるが、属性質問で空間ブラウジングするオブジェクトを絞り、サンプル選択方式に切り替えるという方法は、今後の検討課題として考えている。

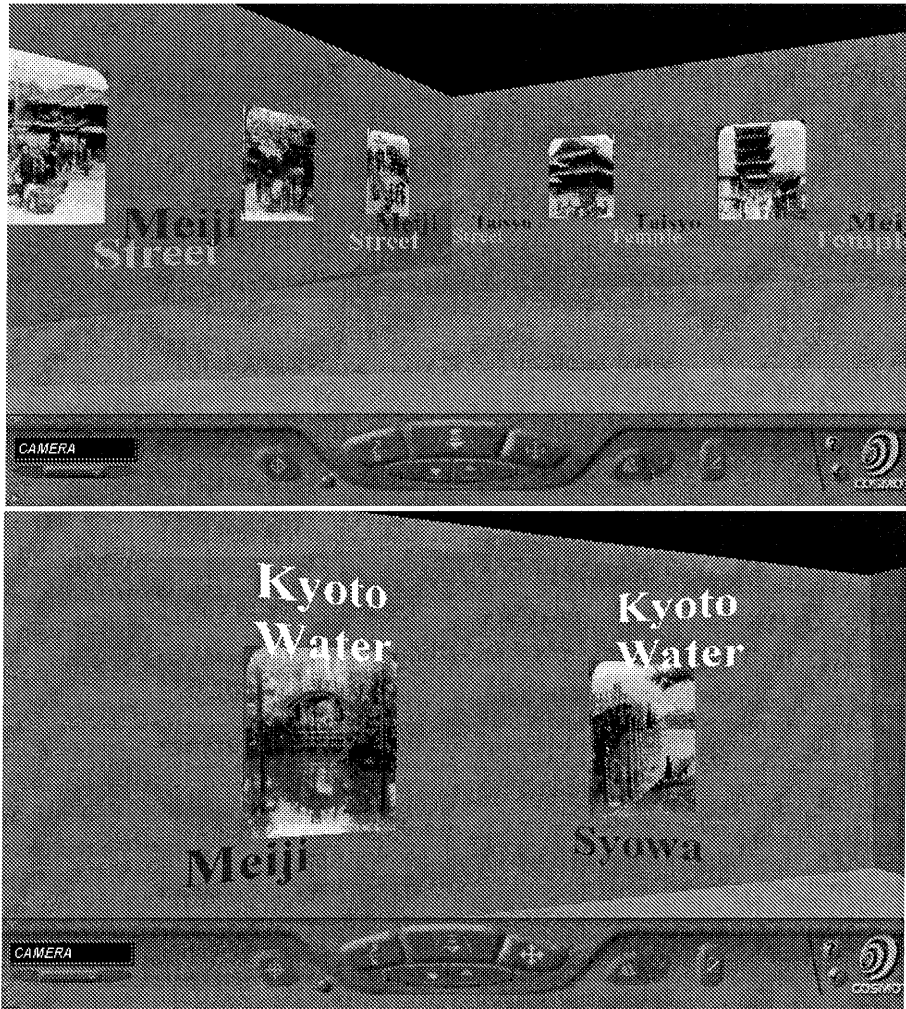


図 17 差別化显示の例

Fig. 17 An example of differentiated presentation of data

(2) 質問形成と空間生成のタイミング

質問形成と空間生成のタイミングは、現状ではユーザが明示的に指定している。今後は質問形成と空間生成を行うタイミングも自動化することを検討している。ユーザの興味が収束しているか、検索結果が1度にブラウジング可能な数まで絞られているか等を考慮すると、例えば質問形成をサンプルが追加される度に行い、検索されたオブジェクト数が、あらかじめ定めておいた結果呈示用の空間に配置可能なオブジェクト数以内に収まった時点で空間を生成すること等が考えられるが、今後検討を要する課題だと考えている。

(3) 認知マップ的なアプローチに基づく仮想空間生成

空間メタファを用いた視覚化の試みは多く存在しているが、仮想空間に適用する際の決定的な回答はいまだに出ていないのではないかと考えている。認知マップで用いられるランドマーク等の概念は都市の構築物等の静的なものを対象とするものが多く、動的に変貌する仮想空間に対してどのように用いるかは課題であると思っている。

謝 辞

本研究の一部は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業における研究プロジェクト「マルチメディア・コンテンツの高次処理の研究」による。ここに記して謝意を表す。また、研究に協力していただいた神戸大学大学院自然科学研究科情報知能工学専攻の卒業生で、1998年より積水化学工業に勤務する川勝健司氏にも謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) J. Hartman, J. Wernecke, Silicon Graphics, Inc.: The VRML 2.0 Handbook(Building Moving Worlds on the Web), Addison Wesley Developers Press, Reading, Massachusetts, (1996).
- 2) C. Fields, N. Negroponte, : Using New Clues to Find Data *Proc. Very Large Databases Tokyo*, pp156-158, (1977).
- 3) K. Koiso, K. Kawakatsu, K. Tajima, K. Tanaka,: Incremental Query Formulation in VRML Virtual Space Using Walk Through and Its Implementation, *Proc. Advanced Database Symposium*, Tokyo, pp127-134, (1997).
- 4) 森 威久, 小磯 健吾, 田中 克己: 空間ナビゲーションに基づくデータベースからの仮想空間の動的生成, 情報処理学会研究報告, 98-DBS-116, (1998).
- 5) K. Koiso, K. Kawakatsu, T. Mori, K. Tanaka: Dynamic Generation of Virtual Spaces and Incremental Query Formulation Using Spatial Browsing, *Workshop Proceedings of the 9th International Conference of Database and Expert Systems Applications (DEXA '98)* Vienna, pp949-956, (1998).
- 6) M.Chignell, G.Furnas, G.Salton: Browsing vs Search: Can we find a Synergy? *Panel Session of CHI'95* Denver, (1995).
- 7) Jun Rekimoto, Mark Green : The Information Cube: Using Transparency in 3D Information Visualization *Proceedings of the Third Annual Workshop on Information Technologies and Systems (WITS'93)*, pp.125-132, (1993).
- 8) L.Nikolovska, Jaquelyn Martino: Spatial Browsing to Retrieve Multimedia Information, *IEEE Multimedia*, Vol. 5, No. 2, pp. 78-83 (1998).
- 9) K.Lynch: The Image of the City, MIT Press, Cambridge, Massachusetts (1960).
- 10) Anselm Spoerri: InfoCrystal: A visual tool for information retrieval and management, *Proceedings of the second international conference on Information and knowledge management(CIKM'93)*, pp11-19, Washington, (1993).
- 11) <http://www.csis.u-tokyo.ac.jp/arikawa/Name-at/Name-at.ex1.j.html>
- 12) 國枝和雄, 原雅樹, 王生進: 仮想博物館における情報散策インターフェース, 情報処理学会論文誌 Vol.40 No.SIG3(TOD1), pp185-194.
- 13) R. Kadobayashi, K. Nishimoto, Y. Sumi, and K. Mase: Evaluation of Mediating Agents that Personalize Museum Exhibitions, *Workshop Proceedings of the 9th International Conference of Database and Expert Systems Applications (DEXA '98)* Vienna, pp502-507, (1998).
- 14) R. Goldman, J. Widom: DataGuides: Enabling Query Formulation and Optimization in Semistructured Databases, *Proceedings of the Twenty-Third International Conference on Very Large Data Bases(VLDB'97)*, Athens, pp436-445, (1997).
- 15) P. Ingwersen: Information Retrieval and Interaction, Taylor Graham Publishing, London, (1993) (細野公男他訳: 情報検索研究 認知的アプローチ (1995)).
- 16) Kengo Koiso, Takahiro Matsumoto, Katsumi Tanaka: Spatial Presentation and Aggregation of Georeferenced Data, *Proceedings of the 6th International Conference on Database Systems for Advanced Applications (DASFAA '99)* Hsinchu, pp153-160, (1999).
- 17) Kengo Koiso, Takahiro Matsumoto, Hiroaki Kawagishi, and Katsumi Tanaka: InfoLOD and LandMark: Browsing and Retrieving Spatial Data, *Proceedings of the 2nd International Conference on Cooperative Databases and Applications '99 (CODAS'99)* Wollongong, pp239-250, (1999).
- 18) Takehisa Mori, Kengo Koiso, Katsumi Tanaka: Spatial Data Presentation by LOD Control Based on Distance, Orientation and Differentiation, to appear in the *Proceedings of the International Workshop on Urban Multi-Media/3D Mapping(UM3 '99)* Tokyo, pp49-56, (1999).
- 19) Kengo Koiso, Takahiro Matsumoto, Takehisa Mori, Hiroaki Kawagishi, Katsumi Tanaka "InfoLOD and LandMark: Spatial Presentation of Attribute Information and Computing Representative Objects for Spatial Data" (to appear in CODAS Special Issues of International Journal of Cooperative Information Systems, Vol. 10, 2000, World Scientific Publishing Company)
- 20) <http://www.w3.org/XML/>

(平成 11 年 12 月 05 日受付)

(平成 11 年 12 月 27 日採録)

**小磯 健吾 (学生会員)**

1991年東北大学工学部建築学科卒業。同年株式会社大林組入社。建築設計、都市再開発関連業務に従事。現在同社エンジニアリング本部に所属。1997年より神戸大学大学院自然科学研究科情報メディア科学専攻博士課程に在籍。情報処理学会、日本映像学会、各会会員。

**森 威久 (学生会員)**

1998年神戸大学工学部情報知能工学科卒業。同年より神戸大学大学院自然科学研究科情報知能工学専攻修士課程に在籍。情報処理学会会員。

**田中 克己 (正会員)**

1974京大・工・情報工学卒, 1976同大学大学院修士修了。1979神戸大学教養部助手, 1986同大学工学部助教授。1994同大学工学部教授(情報知能工学専攻)。1995同大学大学院自然科学研究科(現在, 情報メディア科学専攻)専任教授, 現在に至る。工学博士。主にデータベースの研究に従事。96~98年度通信・放送機構「次世代デジタル映像通信の研究開発」の研究統括責任者, 文部省科研費重点領域研究「分散発展型データベースシステム技術の研究」の研究代表者, 神戸マルチメディアインターネット協議会会長, 情報処理学会, 人工知能学会, IEEE Computer Society, ACM 等各会員。