

空間的關係に基づく視点位置可視化機構の実現方式

木村 直希[†] 細川 宜秀[†] 高橋 直久[†]

ある時点における検索者の状況を再現する機能は、その時点における空間上に配置されたオブジェクト群からの獲得要求に適合するオブジェクト検索の本質的機能として位置付けられる。

本稿では、再現する検索者の状況として検索者の視点位置を設定し、与えられた空間的關係が視認できる視点位置を可視化する方式について述べる。本方式の実現にあたり、2つのオブジェクト間の空間的關係が、検索者の注視対象と視点位置に応じて動的に変化することに着眼する。

本方式の主要な特徴は、注視対象を中心とし、注視対象から視点位置までの距離を半径とする球体を空間的關係毎に色分けすることによって、視点位置から視認される空間的關係を可視化する点にある。

本方式の実現によって、たとえば、2つのオブジェクトが重なって見えていたという記憶から、それを視認できる視点位置を特定することが可能になる。すなわち、検索者の記憶から、検索者がその空間的關係を視認した状況を再現することが可能になる。

本稿では、本方式を実装した実験システムを介して、検索者の状況が再現されることを明らかにする。

Classification and Visualization of Viewpoints by Using a Function for Recognizing Spatial Relationships

NAOKI KIMURA[†], YOSHIHIDE HOSOKAWA[†]
and NAOHISA TAKAHASHI[†]

A spatial relationship which a user views in a location is different from that which the user views in the other location. That is, it is possible to classify user's viewpoints by spatial relationships which the user views.

From the classified viewpoints, the user can specify a viewpoint which the user viewed at a past time. The viewpoint can be used as an important key for location-based information retrieval.

In this paper, we present a method for classifying and visualizing viewpoints by using a function for recognizing spatial relationships. The main feature of our method is to compute spatial relationships in some viewpoints and to estimate spatial relationships which the user views among the viewpoints. By this strategy, our method makes it possible to classify user's viewpoints in a continuous space.

We clarify the feasibility and effectiveness of our method by several experiments.

1. はじめに

近年のモバイル・コンピューティング技術の発展にともない、検索者の状況（位置）に応じた空間情報検索システムが開発されている。しかし、検索者の位置に応じた情報検索システムにおいては、検索者から位置を入力されることを前提にシステムが構築されており、検索者から位置が与えられない状況には適用困難であるといえる。検索者は常に位置を提供できる状況

にはないので、検索者から位置を提供できるようにするためのシステムの実現は、その情報検索システムの利用価値を増大させる。このことから、検索者の状況を再現する機能は、検索者が提供したい位置を特定するための本質的機能の1つとして位置づけられる。

本稿では、視点位置に応じて視認される空間的關係が異なることに着目し、視認される空間的關係毎に視点位置を分類可視化するためのシステムの実現方式を提案する。これによって、検索者が位置を与えられない状況において、その位置を特定するための1手段を検索者に提供することが可能になる。

提案方式は、次の2つの特徴を持つ。

特徴-1 連続空間において2つのオブジェクト間の空

[†] 名古屋工業大学工学研究科情報工学専攻
Nagoya Institute of Technology Department of Computer Science and Engineering Graduate School of Engineering

間的関係を視認する状況を再現するための機能の実現

連続空間において取り得る視点位置は無限に存在する。そのため、すべての視点位置から2つのオブジェクトが視認できる空間的関係を求めることは、困難である。このため、提案方式は次の機能を実現することにより、連続空間において取り得るすべての状況を近似して再現することを可能にする。

この機能は次の3つの機能から構成される。

機能-1 連続空間に属する視点位置から有限個の視点位置(代表点)をサンプリングする機能

機能-2 各代表点から視認される2つのオブジェクトの空間的関係を計算する機能

機能-3 隣接代表点の間から視認される空間的関係の推定機能

特徴-2 多様な形状を持つオブジェクト群を対象とした状況再現機能の実現

提案方式では、先に述べた(機能-1, 3)はオブジェクトの形状に依存しないように実現する。また、(機能-2)は既存方式を用いて、各代表点から視認される空間的関係を計算する。ここで、機能-2において利用する既存方式は多様な形状のオブジェクトを評価対象とする。

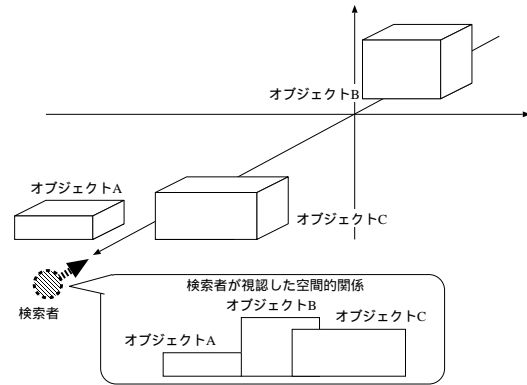
これらの機能により、提案方式は多様な形状を評価対象とすることが可能になる。これによって、多様な形状を持つオブジェクト群から検索者の状況を再現することを可能にする。

2. 状況再現機能の実現価値

本節では、3次元空間上に配置されたオブジェクト群の検索プロセスにおける状況再現機能の実現価値を例を用いて示す。

ここで、3次元空間上に3つのオブジェクトが図1に示すように配置されているものとする。このとき、検索者はオブジェクトBの配置位置を知りたいとする。さらに、検索者は図1に示すような空間的関係を視認しているが、それを視認した位置(視点位置)を記憶していない状況にあるとする。

このとき、3次元空間を対象とした既存の空間データ検索方式(既存方式)¹⁾に、検索者が視認している空間的関係を検索条件として与えた場合、図1に示すようにオブジェクトBを獲得することはできない。これは、図1に示すように、人が視認する2つのオブジェクト間の空間的関係がその関係を視認する位置に応じて異なるが、既存方式では、その視点位置に応じて



検索者の情報獲得要求: オブジェクトBを手にしたい。
(オブジェクトBの配置位置を知りたい。)

検索者の状況:

(1) 上図に示すような3つのオブジェクト間の空間的関係を視認している。

(2) その空間的関係を視認した位置を記憶していない。

(上図では検索者を破線によって表現することにより、その状況を表した。)

3次元空間を対象とした既存の空間データ検索方式(既存方式)によるオブジェクトBの検索

(検索式) $\{x \mid \{A, B, C\} \in x, \text{Meet}(A, x) = \text{true} \wedge \text{Overlap}(x, C) = \text{true}\}$

→ (検索結果) 3次元空間上ではそのようなxは存在しない。

オブジェクトBを検索できない理由は、人が視認する2つのオブジェクト間の空間的関係がその関係を視認する位置(視点位置)に応じて異なるが、既存方式では、その視点位置に応じて変化する空間的関係を計算対象としていないためである。

また、視点位置に応じた空間的関係を計算するための方式を実現しても、この場合の検索者は視点位置を記憶していないので、オブジェクトBを検索するために、その方式をランダムに適用して試行錯誤する必要がある。これは、検索者が獲得したい情報をそのときに獲得することを保証できない。

提案方式: 検索者がその空間的関係を視認した位置(視点位置)を再現、すなわち、検索者がその空間的関係を視認した状況を再現するための方式

→ この例のような、検索者が視点位置を与えられない状況において、提案方式は、その視点位置を特定するための手段を検索者に提供し、検索者の情報獲得に貢献する。

図1 提案方式の実現価値

変化する空間的関係を計算を対としていないからである。また、視点位置に応じた空間的関係を計算するための方式を実現しても、この場合の検索者は視点位置を記憶していないので、オブジェクトBを検索するためには、その方式をランダムに適用して試行錯誤する必要がある。これは、検索者が獲得したい情報をそのときに獲得することが困難であることを意味する。

提案方式は、検索者がその空間的関係を視認した位置を再現、すなわち、検索者がその空間的関係を視認した状況を再現するための方式として位置付けられる。これによって、この例のような、検索者が視点位置を与えられない状況において、提案方式は、その視点位置を特定するための手段を検索者に提供し、検索者の情報獲得に貢献する。

3. 状況再現機能の実現方式

提案する状況再現機能は、2つのオブジェクトの間の空間的関係を視認するすべての視点位置を分類して提示するものである。具体的には、我々は、空間上における2つのオブジェクト間の空間的関係が、それを

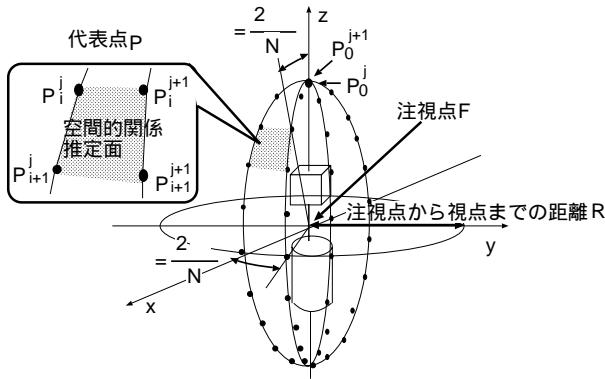


図2 代表点と空間的關係推定面

視認する位置（視点位置）に応じて変化することに着眼し、2つのオブジェクト間の空間的關係を全方位から計算し、色分けして提示する機能を実現する。

提案方式では、まず、連続空間に存在する視点集合から有限個の視点位置をサンプリングし、その視点位置から視認される空間的關係を計算する。次に、隣接する視点位置間から視認される空間的關係を推定する。そのため、次の5項目を入力としてとる。ここで、サンプリングした視点位置を代表点と定義する。図2では具体的に代表点を表している。

- (1) オブジェクト O-1
- (2) オブジェクト O-2
- (3) 検索者の注視点 F
- (4) 注視点から視点位置までの距離 R
- (5) 詳細度 N このパラメータは、隣接する代表点の間隔を決定するための入力値であり、サンプリングする点の数を示す。この値が大きいほど、代表点の間隔が小さくなり、空間上にとりうるすべての状況がより正確に再現される。

提案方式は、次の手順によって、与えられた2つのオブジェクト（O-1、O-2）を視認する検索者の状況を再現する。

Step-1 代表点の決定

Fを中心とし、半径Rの球体表面において、Z軸方向ならびに、XY軸方向に隣接する代表点の間隔が等間隔になるような代表点の集合を求める。ここで、本稿では代表点を P_i^j と表記し添え字 i 、 j によって代表点を識別する。添え字 i はZ軸方向に隣接する代表点の識別子を表し、添え字 j はXY軸方向に隣接する代表点の識別子を表す。

Step-2 各代表点における2つのオブジェクト間の空間的關係の算出

Step-1で求めた各代表点について、その代表点か

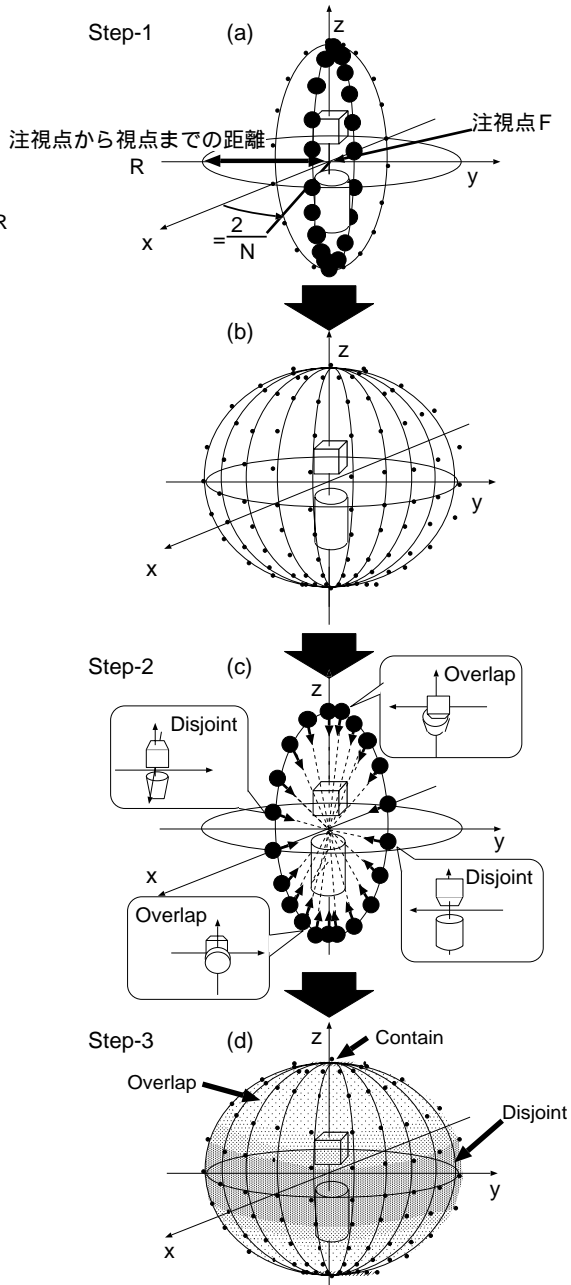


図3 提案方式の実行手順例

ら注視点を注視するときに視認されるオブジェクト O-1、O-2 間の空間的關係を計算する。

Step-3 隣接する代表点間で視認される空間的關係の推定

図2で表されているような、代表点 P_i^j 、 P_{i+1}^j 、 P_i^{j+1} 、 P_{i+1}^{j+1} で囲まれた部分球面を内で視認される空間的關係を推定し、配色を行う。この囲まれた4角形部分球面を空間的關係推定面と定義する。

図3は、提案する状況再現機能の実行例を図示している。図3では、Fを中心とし、半径Rの球体表面から、円柱と直方体がとりうるすべての空間的關係を計算する。また、図3(a)(b)では、代表点の位置を中心F、半径R、詳細度Nから求める。図3(d)では、隣接する代表点間の視認される空間的關係を補完している。この手順によって、視点位置が、円柱と直方体間の空間的關係に応じて分類される。そして、検索者はこの分類にしたがって、欲する視点位置の特定を行う。

3.1 各代表点における2つのオブジェクト間の空間的關係の算出方式

ここでは、各代表点における2つのオブジェクト間の空間的關係の算出方式について述べる。

ある1つの代表点における2つのオブジェクト間の空間的關係は、その実行手順によって算出する。

Step-2.1 その代表点を含み、中心F半径Rの球体の接平面にオブジェクトO-1、O-2を投影する。ここでは、一点透視投影法にしたがって、それらのオブジェクトをその接平面に投影する。一点透視投影法を採用した理由は、この手法が、人間が視認するオブジェクト間の関係をほぼ再現できるためである。

Step-2.2 オブジェクトO-1、O-2の投影像間の空間的關係を算出する。

ここで、提案方式が算出対象とする空間的關係をオブジェクト間の位相関係¹⁾とする。具体的には、Disjoint, Overlap, Contain, Cover, CoveredBy, Inside, Cover, Meet, Equalのうちの1つの空間的關係が算出される。

Step-2.3 代表点に割り当てる色を決定する。

提案方式では、あらかじめ空間的關係に対する色の割り当て表を作成しておく。Step-2.2で算出された空間的關係に該当する色をその表から検索することによって、その代表点の色を決定する。

図4は、2つの代表点で視認される円柱と直方体間の空間的關係の算出例を示している。それぞれの視点位置から視認される空間的關係は異なるので、それら2つの視点位置には異なる色が割り当てられる。このように、球体上の代表点は、空間的關係に応じて分類される。

3.2 隣接する代表点間において視認される空間的關係の推定

ここでは、隣接する代表点間で視認される空間的關係の推定方式について述べる。

提案方式では、次の手順によって空間的關係の推定を行う。

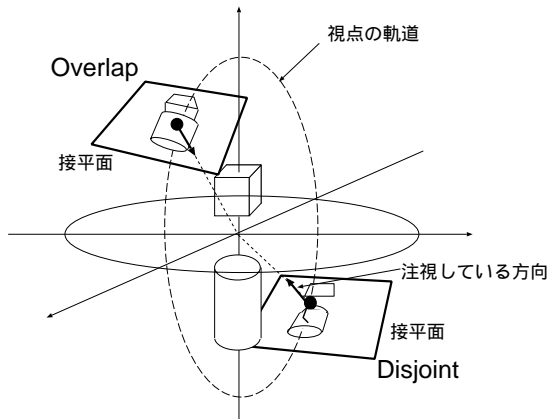


図4 代表点において2つのオブジェクト間が視認される空間的關係の算出例

Step-3.1 すべての空間的關係推定面の抽出

Step-3.2 各空間的關係推定面内において視認される空間的關係の推定

まず、Step-3.1によって抽出された各空間的關係推定面を各辺の中点を頂点に持つ4つの球面に分割し、各面に代表点の色を割り当てる。次に、隣接する代表点に割り当てられた色が同一色の場合はこの空間的關係面を代表点と同一色で塗る。具体的には、図5(a)のように塗られる。隣接する代表点に割り当てられた色が異なる場合、色の違いを吸収するために、連続的な色の变化を施す。これは、連続空間において、視認される空間的關係が切り替わる地点を厳密に求めることは困難なので、代表点間の色の变化が連続的になるように配色することによって、空間的關係内で視認される空間的關係が厳密に計算できなかったことを提示するための処理である。たとえば、4つの代表点すべてが異なる場合、図5(b)のように塗られる。もし、空間的關係推定面内において視認される空間的關係をより正確に求める場合には、詳細度を大きくすればよい。このことにより球面上における代表点の数を増加させることができる。その結果、空間的關係推定面が小さくなるので、その面内において視認される空間的關係をより正確に推定することが可能になる。

4. 実験

本節では、提案方式によって、オブジェクトの形状や配置位置に応じた状況を再現可能であることを検証する。さらに、可視化結果の制御パラメータである詳細度を導入することによって、検索者の要求に対応した

表 1 提案方式による視点位置の可視化結果

	立方体と立方体		円錐と円柱	
	2つのオブジェクトが離れている	2つのオブジェクトが隣接している	2つのオブジェクトが離れている	2つのオブジェクトが隣接している
詳細度:8 	(d-1) 	(m-1) 	(d'-1) 	(m'-1)
詳細度:36 	(d-2) 	(m-2) 	(d'-2) 	(m'-2)
詳細度:360 	(d-3) 	(m-3) 	(d'-3) 	(m'-3)

表 2 提案方式による視点位置の可視化に要する時間

	立方体と立方体		円錐と円柱	
	2つのオブジェクトが離れている	2つのオブジェクトが隣接している	2つのオブジェクトが離れている	2つのオブジェクトが隣接している
詳細度:8	0.037[秒]	0.068[秒]	0.266[秒]	0.234[秒]
詳細度:36	0.330[秒]	0.574[秒]	4.153[秒]	4.375[秒]
詳細度:360	25.657[秒]	48.427[秒]	387.434[秒]	406.932[秒]

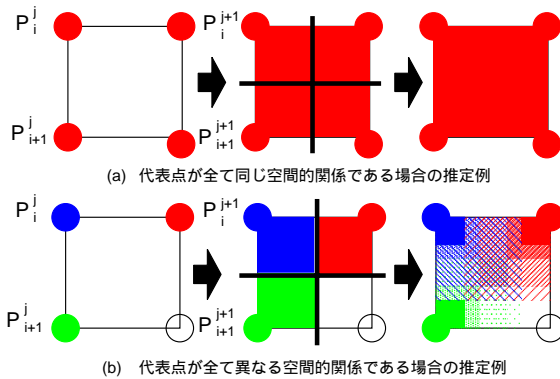


図 5 空間的關係推定面での空間的關係の推定例

可視化が可能になることを明らかにする。

4.1 実験方法

本実験では、配置される2つのオブジェクトの形状、ならびに、それらの配置間隔が異なる3次元空間を複数作成し、それぞれの空間に提案方式を適用する。具体的には、次の条件を持つ4つの3次元空間を作成した。

- 3次元空間-1: 2つの立方体を離して配置
- 3次元空間-2: 2つの立方体を接するように配置
- 3次元空間-3: 円柱と3角錐を離して配置
- 3次元空間-4: 円柱と3角錐を接するように配置

これらの3次元空間に提案方式を適用することにより、オブジェクトの形状や配置位置に応じた状況を再現可能であることを明らかにする。

さらに、3つの詳細度 ($N = 8, 36, 360$) を上記4つの3次元空間に適用し、検索者が要求する生成時間

に対して妥当な可視化結果が生成されることを検証する。ここで、提案方式において導入した詳細度は、球面上にとる代表点数を決定するパラメータであり、提案システムによる可視化結果生成時間を制御するのに使用できる。すなわち、詳細度は、可視化結果の正確さと生成時間のバランスを検索者が決定できる重要なパラメータとして位置付けられる。この検証から詳細度導入の妥当性を明らかにする。

本実験において、実験システムを Java 言語によって実装した。具体的には、可視化結果を表現するためのデータ構造として VRML2.0²⁾ 形式を使用し、VRML によって記述された可視化結果を Java3D⁴⁾ によって表示するシステムを構築した。さらに、JTS³⁾ を用いて、Step-2 において空間的關係を算出するための機構を実装した。実験システムを、視点位置の分類だけでなく、評価対象となるオブジェクトも視認できるように構築した。なお、実験システムの実行環境は次のとおりである。

- CPU : Intel Celeron 2.0GHz
- RAM : PC2100 512MByte
- OS : WindowsXP Professional

4.2 実験結果と考察

表 1 は、4 つの 3 次元空間に提案方式を適用して可視化した視点位置を表す。これらの結果より、提案方式がオブジェクトの形状・配置間隔を変化させた場合、オブジェクトの形状・配置間隔に応じて視点位置が分類されることを確認した。なお、表 1 において、空間的關係が成り立つ部分の配色が淡い配色となっている。このため、モノクロ印刷では各空間的關係が成り立つ部分が識別しにくい、カラー印刷では分類されている様子が明瞭に表示される。

さらに、表 1 より、詳細度を大きくすると、視認される空間的關係の切り替わる境界が明瞭に提示されていることが分かる。これは、詳細度を大きくした場合、1 つの空間的關係推定面が小さくなるので、より正確に空間的關係の推定が行われたためである。一方、詳細度を小さくした場合、提示される球体がより少ない色によって色分けされる傾向があることを確認した。これは、1 つの空間的關係推定面が大きくなることによって、隣接する代表点間で視認される空間的關係の切り替わりを認識できなかったためである。しかし、その場合においても、視点位置の分類がある程度視認できたので、とりうる状況全体から検索者の欲する視点位置を特定するのに貢献するものと考えられる。

一方、分類されなければならない視点位置の一部が可視化されなかった。具体的には、3 次元空間上で 2

つのオブジェクトが隣接している場合において、Overlap として分類された領域内に Meet として分類されなければならない領域が存在した。これは、Meet として分類されなければならない領域内の点が、提案方式が空間的關係をサンプリングするのに使用する代表点として選択されなかったためである。さらに、Meet として分類されなければならない領域は極めて狭いので、詳細度を小さくしても検出されない場合がある。検出されにくい空間的關係には Meet 以外に、Equal、Cover、CoveredBy がある。これらの関係の性質は、2 つのオブジェクトの境界が重なっている点にあるが、提案方式のように境界の重なりを考慮せずに代表点の位置を決定する方法では、境界の重なりを検出することは困難である。そのため、これらの空間的關係を対象とした視点位置分類方式を確立する必要がある。しかしながら、検出されない状況は、再現されるすべての状況との比較において、ごくわずかであることを考慮すると、提案方式によって、視点位置の分類がおおよそ正しく行われることを明らかにした。

次に、可視化結果の正確さと生成時間のトレードオフを制御するためのパラメータである詳細度を導入することの妥当性について検証する。ここで、表 2 は、提案方式による視点位置の可視化結果生成時間を示している。本実験において詳細度 8、36、360 における代表点の数が 64、1024、102400 となることから、代表点数の増大に比例して可視化結果生成時間が増大することを確認した。また、詳細度 36 と詳細度 360 の可視化結果において、視認される空間的關係が切り替わる境界がほぼ同じであった。この結果より、短い時間で可視化結果を生成しなければならない状況において、提案方式がほぼ正確な可視化結果を生成することを確認した。一方、生成時間を問わずに、より正確な可視化結果を生成しなければならない状況において、提案方式がより正確な可視化結果を生成することを確認した。これらの結果より、詳細度は、可視化結果の正確さと生成時間のバランスを検索者が決定できる重要なパラメータとして有効であることを確認した。これより、詳細度導入の妥当性を明らかにした。

以上より、提案方式が状況再現機能の実現方式として妥当であることを明らかにした。

5. 関連研究

本節では、提案方式と関連研究において提案されている方式を比較することによって、提案方式の位置づけを明らかにする。

まず、利用者の位置における情報提供・検索方式と

の比較により、提案方式の位置づけについて述べる。

現在までに情報提供・検索システムが多数提案されている。たとえば、ある地域、時間、利用者の位置の状況に応じて、情報を利用者にプッシュする方式⁵⁾、オブジェクトの現在いる位置より過去にいた位置、未来に行く位置周辺の位置情報を減少させ、移動するオブジェクトの位置に応じて必要な周辺情報を提示する方式⁶⁾、利用者の位置に対して検索を行ないその周辺情報の検索やある地域に入ったときのアクションの制御を行なう方式⁷⁾、撮影した写真の位置をメタデータとして付加した写真を検索する方式⁸⁾などが挙げられる。これらのシステムは、利用者の位置を入力として利用者の獲得要求に適合する情報を提供するシステムである。

提案方式は利用者の位置を検索者が入力困難な状況において、その入力を支援するための方式として位置付けられる。これより、提案方式は検索方式が利用可能な状況を増加させるので情報検索・提供方式の利用価値を増大させる。

次に、現在までに提案されている空間におけるナビゲーション方式との比較による提案方式の位置づけについて述べる。

空間のナビゲーションの分野では、利用者の位置情報において仮想空間のナビゲートを行なうシステムが提案されている。具体的には、仮想空間内の利用者の位置や見ている方向にたいして、一番認識のしやすい背景画像を提示することによって、空間をナビゲートする方式⁹⁾や仮想空間内の利用者が視認できるオブジェクトと他のオブジェクトによって遮蔽されていない面積比に応じて、オブジェクトの情報を提示して誘導する方式¹⁰⁾などが提案されている。

提案方式においては、利用者のそのときの状況、すなわち、利用者の視認できる2つのオブジェクトの空間的關係から位置を計算することが可能となる。提案方式の実現によって、視認される空間的關係を使用しながら利用者の位置を決定しそれに応じた空間のナビゲーションを行なうことが可能となる。このことによって、提案方式は、ナビゲーションシステムの能力向上を可能とする。これより、提案方式はナビゲーションシステムの利用価値を増大させる。

6. おわりに

検索者の状況を再現する機能は、検索者が提供したい位置を特定するための本質的な機能の1つとして位置づけられる。本稿では、検索者の再現する状況を視点位置に設定した。また、2つのオブジェクト間を視

認する視点位置によって視認可能な空間的關係が動的に変化することに着目し、視点位置を空間的關係毎に分類したうえで可視化する方式を提案した。

提案方式の特徴は次のとおりである。

特徴-1 連続空間におけるすべての状況を再現するための機能の実現

特徴-2 多様な形状を持つオブジェクト群を対象とした状況再現機能の実現

また、提案方式の妥当性を提案方式を実装した実験システムを介して実験することで示した。

今後の展望として、提案方式の適用範囲の拡大が挙げられる。具体的には、3つ以上の空間的關係への適用、不透明物体への適用、動的な空間的關係の提示、処理の高速化などが挙げられる。

参 考 文 献

- 1) Egenhofer, M. J.: Spatial Relations Models, Inferences and their Future Application, Proc Advanced Database Symposium '96, separate volume (1996).
- 2) VRML2.0: <http://www.web3d.org/x3d/>
- 3) JTS Topology Suite:
<http://www.vividsolutions.com/JTS/main.htm>
- 4) Aaron E. Walsh, Doug Gehringer.: JAVA3D API Jump-Start, Sun Microsystems press (2001).
- 5) 寺田 努, 塚本 昌彦, 西尾 章治郎: アクティブデータベースを用いた地理情報システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 11, pp.3103-3113 (2000).
- 6) 河島 徹, 石川 佳治, 北川 博之: 移動オブジェクトに対する連続的な最近傍問合せ, 情報処理学会研究報告, Vol. 122, No.35, pp.267-274 (2000).
- 7) 森下 健, 中尾 恵, 垂水 浩幸, 上林 弥彦: 時空間限定オブジェクトシステム: SpaceTag プロトタイプシステムの設計と実装, 情報処理学会 論文誌, Vol.41, No.10, pp.2689-2697 (2000).
- 8) 藤田 秀之, 有川 正敏, 岡村 耕二: 撮影ベクトル場モデルに基づく空間データとしての写真利用, データベースとWEB情報システムに関するシンポジウム, pp.33-39 (2002).
- 9) 宮原 伸二, 小川 剛史, 塚本 昌彦, 西尾 章治郎: 擬似3次元空間の背景となる静止画の視点選択方法について, 情報処理学会研究報告, Vol. 99, No. 61, pp.61-66 (1999).
- 10) 松本 尚宏, 小磯 健吾, 田中 克己: 方向依存の3次元空間内容記述と3次元ガイドツアー, 情報処理学会研究報告, Vol.98, No.57, pp.209-216 (1998).