

方向依存の3次元空間内容記述と 3次元ガイドツアー

松本 尚宏* 小磯 健吾† 田中 克己‡

*神戸大学大学院自然科学研究科情報知能工学専攻

†神戸大学大学院自然科学研究科情報メディア科学専攻

本稿では、仮想3次元空間の多方向からの記述と、方向依存の記述情報集約について述べ、効果的な情報探索の手段を提供すると思われる3次元ガイドツアーへの応用について触れる。我々は3次元空間内のオブジェクトは異なる方向から眺めることができ、異なる情報が得られるという点に着目し、仮想空間内のある小空間(球体)を、その小空間内に存在するオブジェクトから得られる情報によって記述する方法を提案する。また、そのような形で記述された小空間が仮想空間内に配置されている場合、空間関連による検索と特徴による類似検索についても述べる。そして、それらの小空間の連続である3次元ガイドツアーを検索し、ユーザに提示する方法を提案した。

Orientation-based Annotation of Three-Dimensional Spaces and Three-Dimensional Tours

Takahiro Matsumoto* Kengo Koiso† Katsumi Tanaka‡

*Division of Computer and Systems Engineering,
Graduate School of Science and Technology, Kobe University

†Division of Information and Media Sciences,
Graduate School of Science and Technology, Kobe University

In this paper, we propose the multiple annotation of three-dimensional spaces and its aggregation based on orientation and discuss the application for three-dimensional guided tours which provides an effective means for information retrieval in the virtual space. We defined the 3D guided tour as a sequence of spherical spaces specified by points and radiuses and which can be described by the objects they contain. We then discuss the 3D guided query by retrieving the spheres using their spatial relationships and the similarity.

1 はじめに

現在、Web上で3次元仮想空間を構築するための言語としてVRML(Virtual Reality Modeling Language)[1]が知られている。これにより文字、画像、音声、動画といった2次元データだけではなく、3次元データも扱えるようになった。

3次元空間においては、空間内を自由にウォークスルーすることが可能となり、空間内に存在する3次元オブジェクトは様々な方向から見られることになる。また、オブジェクトには様々な情報が記述されており、従来リンク機能などを用いて提示している。オブジェクトに多数の付加情報を記述する方法は岡城[2]によって提案されている。しかし、そのような多数のオブジェクトや領域に記述された情報をすべて提示することは不可能であり、もしも可能であったとしてもその中からユーザが欲しい情報を探すことは困難である。

我々はこれまでに、ユーザの視点とオブジェクトとの空間関連によりそのオブジェクトに関連づけられた情報の優先度を計算するアルゴリズムを提案し、そのオブジェクトに記述された情報を見る方向によって集約し、異なる情報を記述する機構について提案した[3]。

この論文では、そのような形で記述されたオブジェクトによって構成された空間の特徴を表現する機構を提案する。これには後述するスフィアと呼ぶ球体を利用した。そして、ユーザの望む空間に類似したスフィアを検索し、3次元空間において効率よく情報提示を行う3次元ガイドツアーという形でユーザに提示する。

以下、第2章では本論文における基本コンセプトについて述べ、第3章では Orientation-based Annotation Model (方向依存記述モデル) について説明した。4章では特徴ベクトルによる記述について述べ、空間に含まれる複数のオブジェクトにも対応できるように拡張する方法を述べる。5章では空間データの検索機構について述べ、6章では空間データの表示について述べる。

2 基本概念

2.1 方向依存の内容記述

3次元空間において、空間オブジェクトは常に異なる方向から見られることになる。そして、そのオブジェクトの表現は違った方向から見られた場

合に、異なると考えるのが普通である。例えば、スイスとイタリアの境にあるマッターホルン山は、見ている人のいる位置によって異なる見え方をするようになる。スイス側の人は、その山を北からの眺めに伴って、Matterhornと呼んでいる。一方、イタリア側の人には、南からの眺めで、Monte Cervinoとなるのである。同じ山でも、見ている場所によって、受ける印象は違うことになる(図1)。

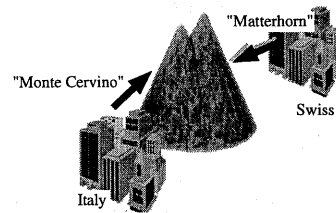


図1: 方向による印象の相違

2.2 方向依存の内容記述の集約

この研究では、オブジェクトの見られている方向に依存して、空間オブジェクトに複数の情報の記述の仕方を提供する。多数のオブジェクトや領域の付加情報をすべて提示することは不可能である。そこで、オブジェクトの見られている方向に依存して、オブジェクトに付加した情報の集約も必要となる。我々は、オブジェクトの見られている方向に依存して記述された情報に優先度を付けることによって、情報の集約を行う機構を提案した。

方向依存の内容記述の集約は空間データの表示の際に、表示詳細度制御にも使われる。図11では、方向によって表示する付加情報は集約されて表示されている。マッターホルンの場合、スイス側から見た場合、「Matterhorn」という名前は「Monte Cervino」という名前よりも大きく表示されることになる。

2.3 記述情報の特徴ベクトル表現

ユーザの要求に沿う空間を検索するために、いくつかの記述情報を持つオブジェクトによって、構成される空間を表現する必要がある。今回は、ベクトル空間モデル[4]における特徴ベクトルを使用した。空間オブジェクトに対して記述された

情報は、この特徴ベクトルによって表現される。そして個々のオブジェクトを表現する特徴ベクトルをもとに、空間を構成する複数のオブジェクトの特徴ベクトルによって空間を表現し検索に利用した。

2.4 3次元ガイドツアー検索

はじめに、3次元空間内の小空間を表現するのにスフィアと呼ばれる球体を定義する。スフィアは3次元空間内において球の中心座標と半径で表現される。スフィア s_i は $s_i(c_i, r_i)$ とし、 c_i は空間内での座標 (x_i, y_i, z_i) であり、 r_i はその半径である。そして、小空間であるスフィアの特徴ベクトルは、スフィアに含まれる複数のオブジェクトの記述情報を表現する特徴ベクトルを後述する方法で加え、その和として定義できる。

3次元ガイドツアーとはユーザがどう動けば良いかを意識することなく、3次元空間内をウォークスルーできる機能であり、スフィアの連続という形で定義できる。ガイドツアー $t(c_1, r_1), \dots, (c_n, r_n)$ ($n \geq 1$) はスフィアの系列である。スフィアの特徴ベクトルを検索に利用することによって、ユーザの興味に沿った3次元ガイドツアーを検索することが可能となると考えられる。

今回はスフィアやガイドツアーはあらかじめ空間内に配置されているものとし、スフィアの半径はオブジェクトの配置関係を意識して自由に半径を決められるものとする。スフィアはその内部に、その空間を特徴づける必要数のオブジェクトを含むだけでよいので、その空間を指定するときの意向によって、空間内には様々な半径のスフィアが存在することになる。

ユーザは自分の興味を反映する小空間において、その空間内の座標とスフィアの半径を指定することによって、その空間に存在するスフィア、あるいは特徴ベクトルによって類似しているスフィアを検索する。3次元ガイドツアーはスフィアの連続と考えられるので、スフィア検索により、3次元ガイドツアーの検索が可能となる。

3 方向依存記述モデル

3.1 MBB法による記述対象の定義と近似

実空間、あるいは仮想空間内のオブジェクトは様々な形状で存在するため、まずオブジェクト

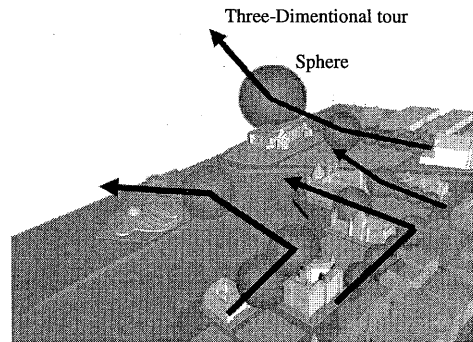


図 2: 3次元ガイドツアーとスフィア

を近似することを考える。近似する方法については様々な方法が提案されてきているが、本研究では図3に示すようにMBB(Minimum Bounding Box: 極小外接ブロック)法による近似を用いる。

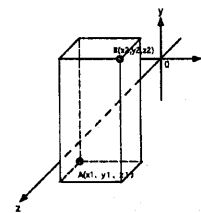


図 3: MBB法による近似

図3に示すように、MBBはX軸、Y軸、Z軸に平行な6つの面を持つ直方体であり、原点から最も近い点と最も遠い点の2点で表現することができる。この例では、原点から最も近い点として $A(x_1, y_1, z_1)$ 、原点から最も遠い点として $B(x_2, y_2, z_2)$ で表現されることになる。本研究では、オブジェクトの見られる方向であるが、このMBBを利用し、オブジェクトのまわりを図4のように26の領域に分け、オブジェクトの見られている方向、つまり視点の方向として近似することとした。

3.2 方向に依存した内容記述

あるMBBに関連する情報を記述する場合に、これまでのようにオブジェクト自体にだけでなく、MBBについてのこれら26の領域にも記述するのである。こうすることにより例えば、ある建

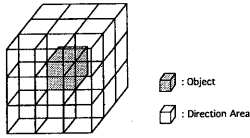


図 4: 視点方向の近似

物の正面からの写真と裏側からの写真がある場合に、その建物ではなく正面の領域と裏側の領域にそれぞれ記述することにより、ユーザが仮想空間内でその建物を正面から見る場合と裏側から見る場合で異なる情報にアクセスができるようになる。

3.3 オブジェクトの内容記述情報の集約

近似された26方向に基づいて考えると各々の視点の位置からのMBBの見え方は以下の3つの場合にわけられる。

1. MBBの面方向から見る
2. MBBの辺方向から見る
3. MBBの頂点方向から見る

これを各方向から見えている面の数から考えるとそれぞれ1、2、3つの面が見えることになる。ここでは本研究で用いた、ある1つのオブジェクトに対して、近似された26方向に記述された情報について優先度を計算するアルゴリズムについて述べる。いま、3.2.1節のFigure4に示されるような近似された視点の向きを表す26方向のいずれかの領域に含まれる視点を $d_i (i = 1, 2, \dots, 26)$ とする。このとき視点 d_i から見えるMBBの面の集合を $face(d_i)$ とする。また、視点 d_i から見て与えた記述情報を $A(d_i)$ で表す。

このとき視点 d_i から見た場合に見えるこのMBBに対する記述情報の集合は、

$$V(d_i) = \{w_{ij} \cdot A(d_j) \mid j = 1, 2, \dots, 26\}$$

と表される。ここで重み w_{ij} は、

$$w_{ij} = \frac{|face(d_i) \cap face(d_j)| \cdot |face(d_j) \cap face(d_i)|}{|face(d_i)| \cdot |face(d_j)|}$$

とする。この式の意味を前半部分と後半部分にわけて説明する。

- "現在の視点から見えるMBBの面のうち、ある情報が記述されている方向からそれらの面がどのくらい見えるか"を表す。
- "ある情報が記述されている方向から見えるMBBの面のうち、視点方向から見える面がどのくらい見えるか"を表している。

この式を用いると、 $i = j$ の場合、すなわち視点の向きと同じ向きに記述された情報の重みは最大値1となり、また視点の位置から見える面が1つも見えない向きに記述された情報の重みは最小値0となる。

以下に一例をあげて説明する。

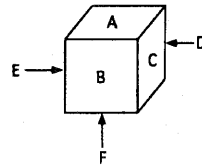


図 5: MBBの各面

いまFigure5に示すようにMBBの各面をA,B,C,D,E,Fで表すことにする。

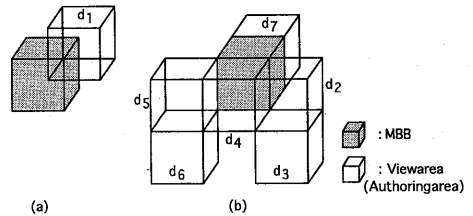


図 6: MBBの頂点方向からの視点

視点を d_1 とし、記述されているのが d_4 の空間であるとする。視点 d_1 からそのオブジェクトを見た場合、見える面はA,B,Cの3面になる。記述情報を持つ空間が d_4 とすると、 d_4 から見える面はBの1面となる。よって重み w_{14} は次のように計算される

$$w_{14} = \frac{|B|}{|A, B, C|} \cdot \frac{|B|}{|B|} = \frac{1}{3} \times \frac{1}{1} = \frac{1}{3} = 0.33$$

4 記述情報の特徴ベクトル表現

我々は、前章までに述べた方向に依存して内容記述した3次元オブジェクトを表現するのに、ベクトル空間モデルにおける特徴ベクトルを使用した。方向に依存して記述情報の優先度を決め、それらを要素として構成される特徴ベクトルを使用することによって、ある方向から見たときの空間オブジェクトを記述することが可能になる。

4.1 3次元オブジェクトの特徴ベクトル

4.1.1 単一オブジェクトの場合

まず、我々はあるオブジェクト o の記述情報の集合を以下のように表現した。

$$V(d_i) = \{w_{ij} \cdot A(d_j) \mid j = 1, 2, \dots, 26\}$$

ここで、あるオブジェクト o の特徴ベクトル表現を次のように定義する。

$$v(o, d_j) (j = 1, 2, \dots, 26)$$

次に、オブジェクトの見られている方向が定まると、オブジェクトの記述情報は集約されなければならない。その方向が d_i とすると、オブジェクトの特徴ベクトル $aggregate(o, d_i)$ は次の式によって集約されるとする。

$$aggregate(o, d_i) = \sum_{j=1}^{26} w_{ij} \cdot v(o, d_j)$$

4.1.2 対象オブジェクトが複数の場合の特徴ベクトル

前節まではオブジェクトの見られる方向が決定されて、単一のオブジェクトが空間内に存在している場合を想定している。ここで、対象となるオブジェクトをスフィアに内包される複数のオブジェクトとした場合、以下の方法でスフィアの特徴ベクトルを生成する。スフィアの中心座標とオブジェクトのMBB法による中点により、オブジェクトの見られる方向が定まる。しかし、オブジェクトの見られている方向 d_i はスフィアの中心座標とオブジェクトの中点の空間関連によるので同じ方向とは限らない。よって、あるオブジェクト o の見られる方向 d_i は、スフィア s の中心座標とオブジェクトのMBBの中点によって決まる $orient(o, c)$ とする。

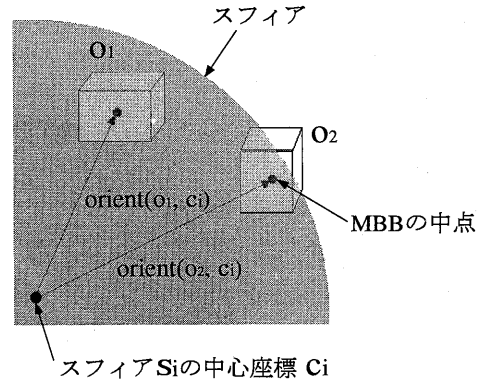


図 7: スフィア内の複数のオブジェクト

ここで、スフィア s 内に存在するオブジェクトを $O = \{o_1, \dots, o_n\}$ とすると、スフィア s の特徴ベクトル $v_s(s)$ は以下の式で定義される。

$$v_s(s) = \sum_{k=1}^n aggregate(o_k, orient(o_k, c))$$

以上によって、複数のオブジェクトを内包するスフィアの特徴ベクトルが生成された。この特徴ベクトルは、スフィア s で定まる空間の特性を表現していることになる。スフィアの特徴ベクトルの要素は、内包する複数のオブジェクトの記述情報を方向に依存して決まる重み w_{ij} で集約し、その和をとることで、内包するオブジェクトの空間関連により特徴づけられた値となる。スフィアの特徴ベクトルの特性は、次の要素によって影響される。

1. スフィアに内包されるオブジェクト O の記述情報
2. オブジェクト O の見られる方向 (重み w_{ij})

3次元ガイドツアーはスフィアの連続とされる。ユーザの望む空間をスフィアで表現し、3次元ガイドツアーを検索するのであるが、基本的にはスフィアの検索が行われることになる。よって、次章ではスフィアの検索の機構について説明する。

5 空間データの検索

スフィアの検索方法については今回2種類の方法を提案した。一つめはユーザがある空間で座標を

指示することによってその座標を含むスフィアを
検索する空間検索。この際、オブジェクトが方向
に依存して記述されていることを考慮した。2つ
めは前章で述べたスフィアの特徴ベクトル表現を
利用して、空間内に存在するスフィアを類似検索
する方法があげられる。

5.1 スフィアの空間検索

ここでは、3次元ガイドツアーを構成するスフィア
の空間検索の方法について説明する。まず、ユー
ザは興味を引く空間を探して、3次元空間をブラ
ウジングしている状態とする。データベース DB
にはスフィアが格納されている。

$$DB = \{s_1, \dots, s_n\} (n \geq 1)$$

基本的な質問機構は次のようになる。ユーザは興
味を持ったオブジェクトのよく見える位置、空間
としてスフィアの中心座標 c_q と半径 r_q を指定す
る。この時、中心座標 c_q と、 r_q からなるスフィ
ア s_q が生成され、データベース DB 上でスフィ
アの検索が実行される。検索時の判定の方法は次
に示す。

ここで、検索されたスフィア $Ans(DB, s_q)$ を
次のように記述すると、

$$Ans(DB, s_q) = \{s_1^A, \dots, s_k^A\} (k \geq 1)$$

$Ans(DB, s_q)$ は次の4つの条件を満たすもの
とする。

1. $\forall i \in \{1, \dots, k\}, s_i^A \in DB$
2. $|c_q - c_i| \leq r_i \quad (s_q \supseteq s_i^A \ni c_q, c_i)$
3. $s_a(|c_q - c_i^A|, c_q) \cap s_b(|c_q - c_i^A|, c_i^A)$ にオブ
ジェクトが存在しない。
4. すべての $i, j \in \{1, \dots, k\}$ に対して、
 $s_i^A \not\supseteq s_j^A$ かつ $s_j^A \not\supseteq s_i^A$

条件2を満足するのは図8の場合である。こ
れはスフィアを点集合としてみた場合、中心座標
 c_q と c_i^A が、 s_i^A に含まれる場合、かつ s_q が s_i^A を
含む場合である。空間内のオブジェクトは方向に
依存して記述され存在しているものとするので、
この条件を満足するスフィア c_i^A は、 c_q から空間
内に存在するオブジェクトを見た場合と比べて場
合、ほぼ同様に見えると考えられる。

この条件を満たさない状態を考えると、例え
ば図9は、 s_q が s_i^A を含まない場合である。ユーザ
は興味を持った空間において、見ているオブジェ
クトを意識してスフィア s_q を指定すると考える
と、検索されるスフィア s_i^A には他のオブジェ
クトが含まれてはいけなと考えられる。例えば9
の斜線部分にオブジェクトが存在することが考え
られるので、条件には適さない。しかし、ユーザ
がもっと広い空間を意識して指定するスフィアの
半径が大きくなれば、図9の c_i^A は条件に適す
ることになる。

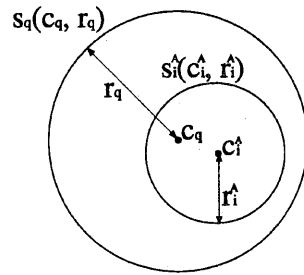


図 8: 例 1

ここで条件3について説明する。図9におい
て真ん中の色の濃い部分は、 c_q と c_i^A を中心座標
とし、半径を c_q と c_i^A 間の距離とする新たな2つ
のスフィア ($s_a(|c_q - c_i^A|, c_q), s_b(|c_q - c_i^A|, c_i^A)$)
の交差とされる。この部分にオブジェクトが存在
すると、そのオブジェクトは、ほぼ反対の部分
を c_q と c_i^A に見せていることになる。つまり、 c_q と
 s_i^A ではそのオブジェクトを見た場合に違った印
象として見える。この範囲にオブジェクトがなけ
れば、 c_q から見える s_i^A 内のオブジェクトは、ほ
ぼ同じ方向で s_i^A から見えると考えられる。よっ
て、条件3を取り入れた。

また、図10では中心座標 c_q と c_i^A が、小さい
方のスフィア s_i^A に含まれない一例を表している。
これは、条件2に適さない。基本的にユーザの座
標が s_i^A に含まれていなければならない。 $s_a(|c_q -
c_i^A|, c_q), s_b(|c_q - c_i^A|, c_i^A)$ で作られる交差領域は大
きくなるし、見える空間はかなり違ったものと思
われるからである。

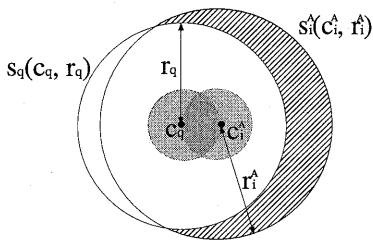


図 9: 例 2

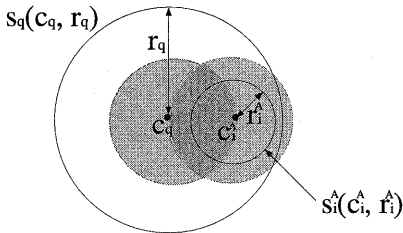


図 10: 例 3

5.2 スフィアの特徴ベクトルによる類似検索

もう一つの検索方法として、スフィアの特徴ベクトルによる類似検索する方法を述べる。質問ベクトルは4.1.2節で述べたスフィアの特徴ベクトルであり、その座標を中心とした空間の特性を表現する。質問ベクトル S_q を生成するときのスフィアの座標 c_q と半径 r_q はユーザが指定する。ここで検索の流れは次のようになる。

1. データベース DB にはスフィアが格納されており、それぞれに対応する特徴ベクトルを索引 $index$ として持っている。

$$DB = \{s_1, \dots, s_n\} (n \geq 1)$$

$$index = \{v(s_1), \dots, v(s_n)\} (n \geq 1)$$

2. ユーザは興味を持つ空間を探して3次元空間をブラウジングする。
3. ユーザは興味を持った空間をスフィア $s_q(c_q, r_q)$ によって指定する。
4. スフィア s_q には n 個のオブジェクトが内包されるとすると、4.1.2節で述べた方法で質

問ベクトル S_q が作成される。

5. 生成された質問ベクトル S_q により類似検索を行う。検索においては、質問ベクトル S_q と、スフィア s_i の特徴ベクトル S_i の間のコサイン相関値によって類似度が決まり判定される。

$$\cos(S_q, S_i) = \frac{S_q \cdot S_i}{\sqrt{\sum S_q^2} \sqrt{\sum S_i^2}}, \quad \theta \leq \cos \theta \leq 1$$

θ の値は類似度の閾値であり、これを質問ベクトル S_q と、スフィア S_i の特徴ベクトルの間の類似度と定義した。

6. 5の条件に満足するスフィアが出力される。

5.3 3次元ガイドツアー検索

3次元ガイドツアーの検索は様々な方法が考えられる。例えば、

- 空間検索により検索されたスフィアを含む3次元ガイドツアーの検索
- 空間検索により検索されたスフィアに類似するスフィアを含むガイドツアー検索

6 空間データの表示

空間データの表示の際には、方向に依存して集約された情報を表示における詳細度を利用する。また、オブジェクトまでの距離によって表示詳細度を制御し、ユーザに提示する。

6.1 方向依存モデルに基づく情報表示詳細度制御

この論文では、方向依存モデルによって各々の記述情報の重みを決定するアルゴリズムを示したが、これは空間オブジェクトを表示する時に、詳細度として利用することができる。例えば図11で示した例のように文字の大きさを変化させてユーザに表示する。

6.2 距離に基づく情報表示詳細度制御

ユーザとオブジェクトとの距離によって表示詳細度を変化させる。これはVRMLにおいてLoD(Level of Detail)[5]という機能によって実現されている。今回はこれと同様の機構を利用することとした。

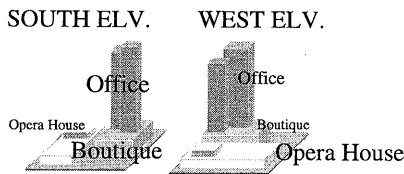


図 11: 記述情報の集約

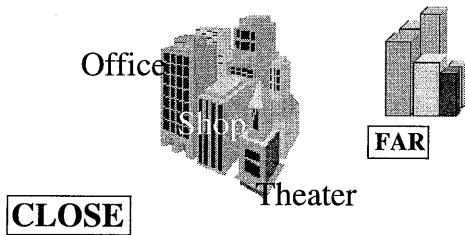


図 12: 距離に基づく情報表示詳細度制御

6.3 3次元ガイドツアーとしての提示

4章で述べた方法によって3次元ガイドツアーが検索された場合、ユーザはそのガイドツアーによって空間内で迷うこともなくウォークスルーを体験できる。ユーザのいる位置は、スフィアの中心座標にそって移動する。移動時は、まるで乗り物によっているようにユーザはその座標を中心として自由に見る方向を決められる。

また、3次元ガイドツアーの途中で再検索すればその地点を通る他のツアーへの分岐、乗り換えも可能となる。ウォークスルーしていく場合は、見所のあるポイントでじっくり見れるように時間配分はユーザによって自由に決められることが望ましい。

問題点としては、通過する空間は見る方向が自由なために、“何を見ればいいのか”など、ユーザはとまどうことがあるかもしれないということがあげられる。しかしこれについては、スフィア内のオブジェクトの持つ特徴ベクトルを考慮して、適当なオブジェクトに視点を定めることで解決できると考えられる。

7 おわりに

本研究では、“3次元空間やオブジェクトに多方向から記述を与え、オブジェクトの見られる方向に

よりそれらを集約する機構”方向依存記述モデルを利用し、半径可変のスフィアと呼ぶ球体をつくり、3次元空間内の様々な小空間の特徴をスフィアによって表現する方法を提案した。それにより、3次元ガイドツアーという形でユーザの要求する情報を効率よく見せることが可能となった。

謝辞

この研究は部分的に文部省科学研究費重点領域研究「高度データベース」No.275(課題番号08244103)の援助を受けており、また、部分的には、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」によっております。ここに記して謝意を表すものとします。

参考文献

- [1] Jed Hartman, Josie Wernecke, Silicon Graphics, Inc. “The VRML 2.0 Handbook(Building Moving Worlds on the Web)”, Addison Wesley Developers Press.
- [2] 岡城純孝 “3次元空間におけるオーサリングと表示詳細度制御に関する研究”, 1997年度神戸大学大学院工学自然科学研究科修士論文, (1997).
- [3] K.Koiso, Takahiro Matsumoto, K.Tanaka, “Spatial Authoring and Orientation-Based Aggregation of Annotated Information”, Urban Multi-Media/3D Mapping
- [4] Ingwersen, P., 1993. Information Retrieval and Interaction. Taylor Graham Publishing, London, pp.105-106
- [5] 有川 正俊, “VRML 応用における連続空間実現のためのLoDの役割”, 第1回重点領域研究「高度データベース」研究集会, pp.61-62, (1996).