1302 3次元部分領域の汎用表現手法とそれに適した入力装置の開発

Development of A Universal Representation Method for Three Dimensional Partial Regions and the Suitable Interface Device

○ 竹内裕昭 (北大) 小野里雅彦 (北大) 田中 文基 (北大)

Hiroaki TAKEUCHI, Masahiko ONOSATO and Fumiki TANAKA

Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University,
N14W9, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido

There's likely to problem not to inherit the skills and knowledge about manufacturing and designing. Annotation function in CAD software could embed such informations, however it requires extra operations and the locations depends on the CAD system. So we develop a universal representation method that indicates regions on the 3-D model. This method uses the expression of 3-D locations called as Discrete Direction Expression and extends it. Furthermore we made a user-interface device to indicate 3-D regions on the 3-D model intuitively by the use of mixed reality. Therefore, we suggests a universal representation method for three dimensional partial regions throughout the model lifecycle and suitable interface device.

Key Words : information embedding, mixed reality, 3D CAD

1. 緒 言

日本の製造業を長年にわたって支えてきた熟練技術者が、少子・高齢化の影響等により減少しつつあり、彼らが持つ設計・製造に関する技能や知識が継承されないことが問題となっている。そこで、こうした知識を収集するための仕組みが求められている。3次元モデルに対して情報を付与する仕組みとして、CADソフトウェアにはアノテーションと呼ばれる機能が備わっているが、これにはCADの操作方法の習得が不可欠であり、また、付与された情報は異なるCAD同士のデータ交換時および他のデータ形式への変換時に失われてしまう。

そこで本研究では3次元モデル上の部分領域を表現する手法として、離散方向表現と呼ばれる位置表現を拡張することで、CADやCAEといったソフトウェアシステムに依存しない汎用表現手法を開発し、モデルデータのライフサイクルにおいて一貫した領域特定が可能となる手法を提案する (Fig.1)。

また、本手法をより有効に活用するためには、コンピュータシステムに対して部分領域情報を3次元空間内で直接的に入力する装置が求められる。こうした用途に適した装置として複合現実感を用いたユーザインタフェースと、部分領域情報の入力方式を提案する。

2. 離散方向表現による3次元座標の表現手法

3次元モデル上の任意の位置をソフトウェアシステムに依存せず汎用的に表現する手法として、本研究グループでは離散方向表現による表現手法⁽¹⁾を提案した。

この手法ではモデルの任意の位置を、モデルの原点から伸びる直線とモデルの面との交点で表し、原点からの方向情報と「N番目に通過した点」という情報 (交差回数) により表現する。

また、方向の表現としては、球面の全ての方向に対して同一の分解能を得るため、 (θ, ϕ) のような極座標ではなく、階層球面三角メッシュ (HTM)⁽²⁾により分割された球面上の三角形 (球面三角メッシュ) によって、方向をディジタル表現する (Fig.2(a))。

正20面体の三角メッシュの4分割を繰り返し、順次0-3の数値を追加していくことで、直線と交差する三角メッシュを一次元の数値列に変換する。これにより分割数すなわち桁数を増やすことで用途に応じた適切な精度を得ることができる。例えば Fig.2(b) で示されている方向のコードは“04130”と表される。最初の2桁 (“04”) が正20面体のメッシュを表し、それに続く数値 (“1”, “3”, “0”) が4分割された各メッシュとその方向を表している。

こうして得られた方向のコードをHTMコードと呼び、またこのような方向の表現手法を離散方向表現と呼ぶ。

Fig. 1 A representation for 3-D partial regions throughout the model lifecycle

(a) Sphere by HTM Division (b) Direction Representation

Fig. 2 A sphere and a direction expressed by HTM division (code:04130)

Fig. 3 An information is embedded into the partial region on the 3-D model

Fig. 4 A sphere at the origin of the model and a ray from the origin to the curve of the region

3. 3次元部分領域の汎用表現

3次元モデル上の部分領域をシステム非依存で汎用的に表現する手法を開発した。本手法は内部に離散方向表現を用いており、3次元モデル上の任意の部分領域に対して情報を付与する際の領域特定手法として用いることができる (Fig.3).

3.1 3次元部分領域のコード化

3次元部分領域を領域の境界を表す曲線 (境界曲線) により表す。境界曲線は領域に対して反時計回りにその軌跡を表す点群として与えられていることとする。また、対象となる3次元モデルはモデルデータのライフサイクルにおいて少なくともモデルの原点と座標軸の方向は失われないものと仮定する。

ここで、3次元モデルの原点から正20面体の4分割を繰り返してできた仮想的な球体を考える。モデルの原点から軌跡の各点に向かう半直線を伸ばすことで、球体上に点の軌跡を作成することができる (Fig.4, Fig.5)。この軌跡を用いることで、3次元モデル上の領域のコード化は仮想球体上の軌跡のコード化と考えることができる。

球体上の軌跡を表す点群 P は必ずいずれかの球面三角メッシュ T に含まれる。点群 P を順に追っていくと、球面三角メッシュ T の3辺のうちの1辺と交点 Q で交わる。領域を表す点群はこの交点 Q による折れ線近似で表す (Fig.6)。

交点 Q は三角メッシュのコード T とその周囲の位置 a により記述する (Fig.7)。ここで、数値 a を固定長とし、 T を階層球面三角メッシュのコード (HTMコード) で記述することにより、HTMによる分割数を変えることで任意の解像度を得ることができる。

3.2 モデルとの交点が複数ある場合

3次元モデルの原点から領域の境界曲線の各点に半直

Fig. 5 The edge-curve of the region is described as the curve on the surface of the sphere

Fig. 6 The region is described by the cross points of the lines of raw points and the lines of triangular meshes

Fig. 7 Each the cross points is encoded as a code of triangular mesh and the position of a line surrounding the mesh

線を伸ばす際に、半直線がモデルと複数の交点で交わる場合がある。2節で述べた3次元座標の表現手法では、HTMコードに交差回数を付加することで表現したが、領域表現においても同様である。概念的には交差回数と同じ数の仮想球体を作成し、その最も外側の球体上に領域を表す軌跡を描くことに相当する。Fig.8はモデル表面上の領域が原点から見て2回目の交差点群であるため、2個の球体のうち外側の球体表面上に軌跡が描かれ、この軌跡がコード化される。

3.3 原点を含む平面上に境界曲線の一部が乗る場合

モデルの原点を含む平面上に境界曲線の一部が乗る可能性がある。特に3-D CADでモデリングする際にはモデルの原点から作成する場合も多く、こうした状況は頻繁に発生する。この場合、原点からの半直線とモデルとの交点が存在しないため、コード化ができない。

そこで、一度原点 O からある方向に半直線を引き、この半直線とモデルとの交点 O' を中心として新しい仮想球体を作成する (Fig.9)。これを3.1項の仮想球体とすることで目標となる境界曲線の一部 (あるいは全体) のコード化が可能となる。

Fig. 8 The number of intersection is expressed by multi-spheres

Fig. 9 New origin by intersection point of another ray from origin

3.4 領域コード

3.1 項で述べたように3次元部分領域を表すコードは、HTMコードと球面三角メッシュの周囲の位置を表す固定長の数値 a の組み合わせにより表現される。

たとえば球面三角メッシュを表すコード T 、交差回数 n 、周辺位置 a を：で区切った文字列のリストとして下記のように表される。

$$\begin{aligned} T_1 : n_1 : a_1 \\ T_2 : n_2 : a_2 \\ \vdots \\ T_N : n_N : a_N \end{aligned}$$

具体的には下記のようなコードで領域が表される。このコードは Fig.14 で示されている領域のコードである。この例では周辺位置 a を 0~8 の数値で表している。

$$\begin{aligned} 032123 : 2 : 2 \\ 032120 : 2 : 4 \\ \vdots \\ 032121 : 2 : 2 \end{aligned}$$

Fig. 10 An overview of XEONA

Fig. 11 Dragging the stylus of the device to describe the region

Fig. 12 To push a virtual object to the 3-D model to describe the region

4. 複合現実感を用いた入力装置と部分領域の指示

現実空間と仮想空間の融合環境を提供する複合現実感という考え方にに基づき製作されたユーザインタフェース XEONA⁽³⁾を用いて、3次元部分領域を指示するためのシステムを作成した (Fig.10)。

4.1 領域の指示方式

本装置には3次元空間の位置・姿勢を指示するためのスタイラスが備わっている。スタイラスを用いて3次元部分領域を指示するには主に以下の2通りの方法が考えられる。

- モデルの表面をスタイラスでなぞり（あるいは先端から伸びたレーザーで切り）、その軌跡で囲まれた範囲を指定領域とする (Fig.11)
- スタイラスの先端に仮想的なオブジェクトが付いており、それをモデルに当てることでできる範囲を指定領域とする (Fig.12)
 - による指示では、モデルとスタイラス先端から伸びた半直線との交点を得るだけであり、処理としては比較的容易に境界曲線を求めることができるが、境界のどち

Fig. 13 Inputting a region by stylus

ら側が指定領域であるかを別途指示する必要がある。また、実際に利用者が曲線を描くため、手先のぶれなどにより曲線に高周波ノイズが乗る。本システムではスタイラスに粘性となる力覚を与えることでこうしたぶれを減らし、利用者が思い通りの領域を入力できるようにした。

b. による指示では、モデルと仮想的なオブジェクトとの衝突を判定する必要があるため、より多くの処理が必要となる。一般に利用者が思い通りの領域を入力するには、操作した状況に応じてリアルタイムに視覚情報が更新されることが求められるため、b. の方式を採用する場合には高速な衝突判定の仕組みが必要となる。

いずれの場合にも、指定された領域を反時計回りに辿る点群に変換することで、3節に示した手法によるコード化が可能となる。

4.2 入力例

本研究グループが開発したシステムにより3次元モデル上の部分領域を入力している様子を Fig.13 に示す。入力方法は a. のスタイラスでなぞることで領域を指定する方式を採用した。指定された領域は Fig.14 で示された領域である。

複合現実感を用いたシステムを用いたことにより、3次元空間にあるモデルの部分領域を直感的な操作により入力できることが確認された。

Fig. 14 Result of inputting a region

5. 結 論

3次元モデル上の部分領域を汎用的に表現するための手法として、離散方向表現と仮想球体を用いて、HTMコードと周囲の位置により表現する手法を提案した。

またモデル上の部分領域の指示に適した入力装置として複合現実感の概念を用いたユーザインタフェースを開発した。

今後はより短いコードで領域を表現する手法やモデルの表面だけでなくその内部やボリュームを持った空間を表現する手法を開発する。

参 考 文 献

- (1) 竹内, 小野里, 複合現実感を用いた3次元製品モデルへの情報埋め込みと抽出, 機械学会'04 (2004)
- (2) P. Z. Kunszt, A. S. Szalay, A. R. Thakar, *The Hierarchical Triangular Mesh*, Dept. of Physics and Astronomy, Johns Hopkins University, Baltimore, MD 21218 (2001)
- (3) 中川, 小野里, マルチモーダル型3Dユーザインタフェースの開発, ヒューマンインタフェースシンポジウム'99, pp. 303-308 (1999)