

4次元形状モデリングにおけるモデル間の干渉状態の検出と解消

北海道大学 ○葛西 洸通, 小野里 雅彦, 田中 文基

要 旨

本研究では、運動・変形する動的な3次元形状モデル間の干渉検出を、静的な4次元形状モデル間の干渉判定として干渉状態を検出する方法、並びに得られた結果からモデル間の干渉を解消する手法を提案する。

1. はじめに

設計・製造の分野において、対象の変形や運動といった3次元形状の時間変化を扱う問題は数多く存在する。例えば、運動や変形をする3次元物体間の干渉問題は、機械システムなど動的な対象の設計における難しさの要因の一つである。

本研究は、これまで提案されてきた4次元メッシュモデル[1]を用いて、運動・変形する3次元形状間の動的な干渉判定を、4次元形状間の静的な干渉判定として解くことで、モデル間の干渉状態を検出する手法を提案する。また、静的な形状操作で4次元形状間の干渉状態を解消する手法を提案する。

2. 4次元メッシュモデル

2.1 4次元メッシュモデルの定義

3次元の空間的広がりとして1次元の時間の流れを4次元ユークリッド空間 R^4 と考えたとき、3次元形状の運動や変形といった動的な状態は、4次元空間の形状として静的に扱うことができる。本研究では、4次元空間の形状表現として、4次元形状の境界を四面体状の胞の集合で表した4次元メッシュモデルを提案している。各四面体は4次元空間での超平面上に存在し、その法線の向きにより、4次元形状の内外を規定する。

2.2 4次元メッシュモデルの干渉状態

4次元メッシュモデルにおける他モデルとの干渉は、モデルを構成する各四面体の干渉状態より得る。四面体の干渉状態は、他のモデルに対して直接モデルの四面体と交差する「干渉」、他モデルに内包される「内側」、その他の場合である「外側」の3種類の状態に分類される。また、「干渉」の状態を持つ四面体は、各干渉に対して連結しており、内側と外側の境界となっている。

3. 4次元メッシュモデル間の干渉状態の検出

3.1 4次元メッシュモデル間の干渉判定

本手法では、川岸らの研究[2]で提案された手法を利用して干渉状態の検出を行う。処理の流れを図1に示す。4次元メッシュモデル間の干渉判定は、はじめに干渉判定対象の4次元メッシュモデルから、境界ボリュームの一種であるAABB(Axis Aligned Bounding Box)を階層化したAABB木を構築する。そして、AABB木間の干渉判定で干渉の可能性のある要素の絞り込みを行った後、4次元空間における四面体間の干渉判定を行う。この干渉判定で、干渉ありと判定された四面体は「干渉」の状態をもち、干渉なしと判定された四面体の干渉状態は「干渉」以外の状態であり、不確定とする。

3.2 各四面体の干渉状態導出

干渉判定後、干渉判定が行われた各モデルを構築する全ての四面体に対して、干渉状態を導出する。

「干渉」の状態を持つ四面体に隣接する不確定の四面体に対して、他モデルに対する包含判定を行い、その四面体が「内側」か「外側」の状態であるかを決定する。そしてその四面体の干渉状態を属性として、隣接関係をたどって不確定の四面体にその属性を伝播させていく。全ての四面体の干渉状態が決定され

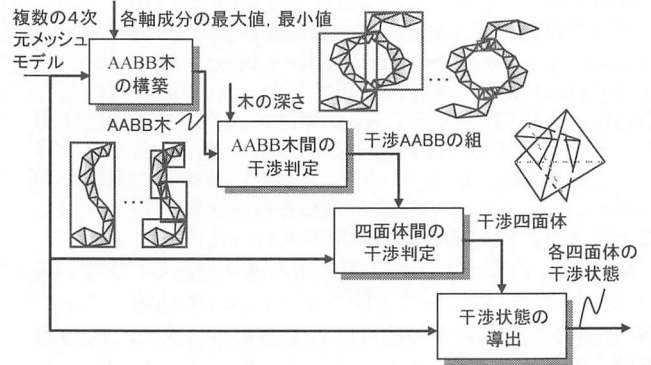


図1 干渉検出の処理の流れ

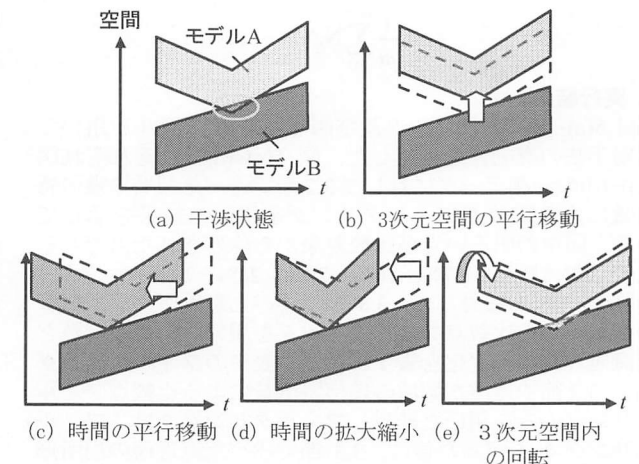


図2 4次元メッシュモデル間の干渉解消の種類

るまでこれらの処理を繰り返す。

4. 4次元メッシュモデル間の干渉解消

4.1 4次元メッシュモデル間の干渉解消の種類

4次元メッシュモデルにおいて、干渉解消手法の種類は大きく分けて以下の3種類が考えられる。例として干渉しているモデルを図2(a)に示す。

1. 4次元形状の平行移動(図2(b), (c))
2. 時間の拡大縮小(図2(d))
3. 時間軸を固定した3次元空間内の回転(図2(e))

上記の解消手法は全て時空間における形状のアフィン変換で、静的な形状操作として処理を行うことができる。また、4次元における回転は平面を基準に回転するため、時間軸を回転面に含めることで、3次元形状を保持することができる。本手法では解消手法の種類1~3のうち、1,2の4次元形状の平行移動と時間の拡大縮小による干渉解消を行う。このとき、解消時に操作するモデルは1つに限定し、その他のモデルは固定とする。

4.2 平行移動による干渉解消

本手法では、大きく分けて移動方向 \mathbf{u} の決定とその移動方向で干渉を解消する距離 d の算出を行う。まず、モデル A を微小変動させ、そのときに得られる「干渉」・「内側」の四面体からなる干渉領域の超体積 V の変化分を近似的に計算し、勾配ベクトル $\partial V/\partial \mathbf{x}$ を導出する。このとき $\mathbf{x}=(x,y,z,t)$ である。その勾配ベクトルから、 $\mathbf{u}=-\partial V/\partial \mathbf{x} / |\partial V/\partial \mathbf{x}|$ として移動方向 \mathbf{u} を決定する。次に、モデル A の各内側四面体の重心と、重心を原点とした \mathbf{u} の半直線とモデル B の四面体と最初に交差する点との距離を算出する。算出した距離の中で最大の距離を d とする。

4.3 時間の拡大縮小による干渉解消

頂点の時間成分 t が基準時間 t_0 を中心に倍率 s で拡大縮小された場合、拡大縮小後の時間成分 t_s は(1)式より与えられる。

$$t_s(t,s) = t_0 + s(t - t_0) \quad (1)$$

干渉を解消するために、以下の方法で t_0 と s を決定する。

まず、平行移動による解消手法と同様の手法で、移動方向を時間方向 u_t に制限したときの最大の距離 d を導出する。そのときのモデル A の重心とモデル B の交点のそれぞれの時間成分を t_A, t_B とする。モデル A の各頂点の時間成分の最大値 t_{max} 最小値 t_{min} から、 t_A と t_B を端点とする時間区間までの距離 d_A, d_B を計算・比較し、大きい距離に位置する t_{max} あるいは t_{min} を基準時間 t_0 とする (図 3(a))。

拡大縮小の倍率 s は式(2)より求められる。これにより $t=t_A$ 上の頂点は $t=t_B$ に移動する (図 3(b))。

$$s = \frac{t_B - t_0}{t_A - t_0} \quad (2)$$

5. 実装結果

4つの同一径の球モデルが運動し、干渉する例を図4に示す。このとき、各軸に垂直な超平面で断面抽出した結果を描画している。4次元メッシュモデルは各々約25万の頂点、約150万の四面体から構成されている。モデル A の球は+z 軸方向に、B の球は-y 軸方向に、C の球は+x 軸方向に、D の球は-x 軸方向にそれぞれ等速直線運動をし、ある時間の間 A の球は、それぞれ B,C,D の球と干渉する。A の干渉状態の検出結果を図5に示す。外側の四面体は元のモデルの濃淡で、干渉と内側の四面体はそれぞれ別に濃淡をつけて描画される。

干渉を解消するときに操作するモデルを A として、解消の対象が1組の干渉の場合と複数干渉の場合で、干渉の解消を行った。干渉が一組の場合の平行移動による干渉解消結果を図6に示す。解消の結果、干渉が一組の場合、厳密解に近い値で解消されていることを確認した。次に複数の干渉を対象とした場合の解消結果を図7に示す。平行移動の結果を A_{Trans} 、時間の拡大縮小の結果を A_{Scale} で表す。どちらの方法も干渉は解消されたが、平行移動の結果は厳密解と比べ移動距離が2倍以上となった。

6. 結論

本研究では、運動・変形する3次元形状間の動的な干渉検出、ならびに干渉回避問題について、4次元メッシュモデルを用いたアプローチで問題を解決する手法を提案した。ただし、複数の干渉の場合は適切な解消結果とならなかった。これは、本手法では平行移動による解消方向を干渉領域の超体積の勾配ベクトルから決定しているため、最短距離で解消できる方向でないことが考えられる。

今後の課題は、複雑な干渉問題に対応する干渉解消手法や解消手法の組み合わせなどが挙げられる。なお、今回行われなかったモデルの形状変形を扱い、複数の解消手法で解消する手法を2010年度精密工学会秋季大会[3]にて報告する。

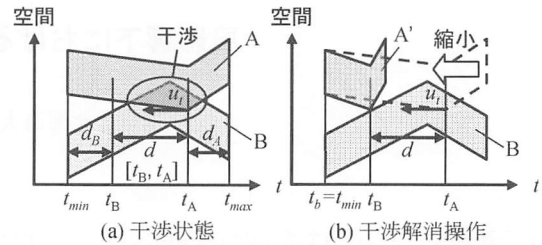


図3 時間の拡大縮小による干渉解消

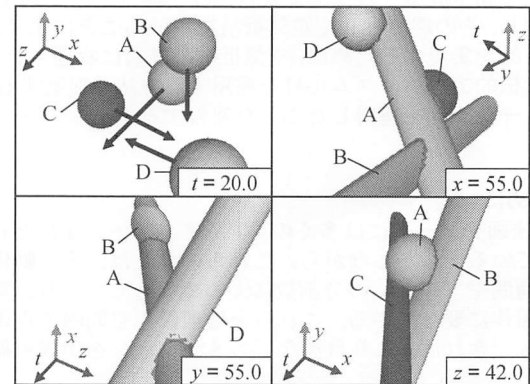


図4 4次元メッシュモデル間の干渉例

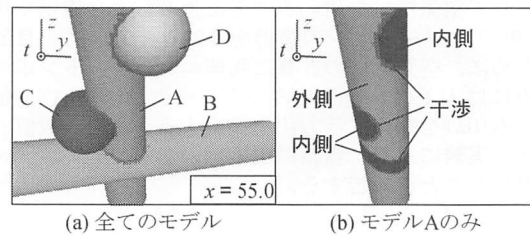


図5 干渉状態の検出結果

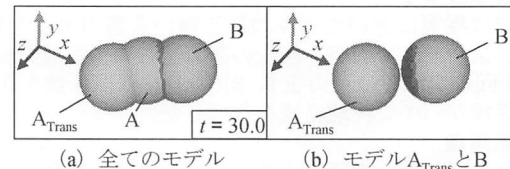


図6 干渉が一組の場合の平行移動による干渉解消結果

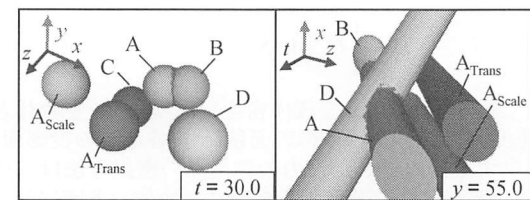


図7 複数の干渉の場合の干渉解消結果

参考文献

- [1] 川岸良次他, サイバーフィールドのための4次元形状モデリングに関する研究 (第2報), 2008年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, J3, 2008.
- [2] 川岸良次他, サイバーフィールドのための4次元形状モデリングに関する研究 (第5報), 2009年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, M21, 2009.
- [3] 葛西洸通他, サイバーフィールドのための4次元形状モデリングに関する研究 (第8報), 2010年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 2010(発表予定).