

凸多面体の類似判定アルゴリズム

— 類似部分の抽出法について —

3D-3

向井伸治(前橋工業短大) 古川 進(山梨大・工) 小尾 誠(山梨大・工)
木村文彦(東京大・工) 佐田登志夫(理化学研)

1. はじめに

形状モデルをロボットの認識機構や知識の表現等へ応用するにあたり、立体形状の分類を自動的に行う方法を構築しておくことが必要である。その一環として、筆者らは、凸多面体を対象に類似判定を実現するための方法について検討を行ってきた。その結果、凸多面体形状全般にわたり類似度がある程度定量化でき、類似形状の識別が行えることを示した¹⁾²⁾。本論文においては、これをさらに発展させて、定量化された類似度を明示的に記述するために、比較する2立体から部分的に同一な箇所や極めて類似している箇所を抽出する方法を提案する。

以下では、立体形状全体としての類似度を定量化する方法の概要を示すとともに、類似部分の抽出方法について述べる。さらに、数種の立体への適用結果についてもあわせて報告する。

2. 類似判定アルゴリズムの概要

類似判定の処理手続きは、次の4ステップより構成される。①比較する2立体A, Bの位置合わせのための各立体に固有な座標系の設定, ②頂点の照合, ③類似度の算出と類似判定, ④類似度を明示的に記述するための類似部分(合同部分)の抽出。

固有な座標系の設定においては、距離分布表を利用する。これは、図心 G_c と各頂点 V_i との距離 d_i を計算し、その最小値 d_{min} と最大値 d_{max} の範囲を頂点の数 n で等分割した表に、各頂点を対応させたものである。この表より、座標軸を決定するための2頂点を抽出する。立体Aにおいては、頂点の分布密度の低い2つの要素を選び、さらにそれぞれの要素から距離の最大の頂点 V_{max1} , V_{max2} を選び出す。立体Bでは、立体Aで抽出された2要素に対応した要素とその前後の要素に存在する頂点のすべてを、座標軸決定のための候補点とする。図心 G_c を新しい座標系の原点とし、ベクトル $\vec{G_c V_{max1}}$ をx軸の正方向に定める。z軸は、外積 $\vec{G_c V_{max1}} \times \vec{G_c V_{max2}}$ で定まる方向とする。

頂点の照合に際しては、頂点の角度分布表を用いる。

この表は、z軸を立体の中心軸と見なしたときの各頂点の経度 θ 、緯度 ϕ を計算し、便宜的に θ , ϕ の定義域を \sqrt{n} 等分した分割表の該当位置に各頂点を対応させたものである。立体Aの角度分布表の1要素に含まれる頂点に注目すれば、立体Bの分布表の同一要素とその周辺要素に存在するすべての頂点を対応関係を求める候補点とする。当該頂点と候補頂点との頂点間距離を求め、それが最小のものと対応させる。以上の2種類の分布表を用いた幾何的操作により、立体の位置合わせと頂点の照合を効率的に行うことができる。

分布表の要素数は頂点数に依存して決まるため、比較する2立体の頂点数が異なるときには、要素の対応関係が定まらないことになる。この場合には、頂点数の多い立体に基づいて同一の要素数からなる分布表が作成される。また、頂点の照合においては、2立体の頂点数の差分だけ対応関係が定まらない頂点が見れる。このとき、重複を認めて対応関係を求める一方で、頂点の増減によりあらかじめ頂点数を等しくする操作を行ってから一対一の対応関係を求める。これには、近接頂点の識別と頂点の減少法、突出頂点の識別と頂点の増加法が適用される。

類似度は、対応する頂点位置のずれに着目して、式(1)、式(2)に示す μ , σ で定義する。

$$\mu = \sum (e_i / d_i^a) / n \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum (e_i / d_i^a - \mu)^2} / n \quad (2)$$

ここで、 e_i は対応する頂点間の距離、 d_i^a は立体Aにおける図心-頂点間距離を表す。頂点数の異なる立体の類似性を説明するには、類似度 μ , σ に加えて、頂点数の違いを表すファクタ f_n が導入される。

$$f_n = |n_A - n_B| / n_A \quad (3)$$

ここで、 n_A , n_B は、それぞれ立体A, 立体Bの頂点数を表す。これら μ , σ , f_n の値の大小により類似判定が実現される。

3. 類似部分の抽出法

立体形状の類似性を論ずるとき、形状が全体として類似しているか否かの判別が行えると同時に、部分的

にどの箇所が類似しているかあるいは相違しているかを識別できることも、定量化された類似度を保証する意味から重要であると考えられる。類似判定の最終段階として、類似部分または相違部分が認識される。

(1) 頂点数の等しい場合

比較する2立体の頂点数が等しいときは、重ね合わせのための頂点の座標変換を行うことによって、合同部分と相違部分の抽出がある程度可能である。まず、対応する頂点の図心-頂点間距離の差が最小となる頂点对を一致させる。次に、その頂点を一 endpoint とする稜線を重ね、さらにその稜線を含む面を重ねる。このように、一致する可能性が高いと考えられる頂点を基準として、稜線、面のすべてのケースについて重ね合わせの座標変換を行う。そこで再度、類似度を算出し、 μ の値の最小のケースにおける各頂点の重なり状況を調べることにより、一致する頂点 ($e_i = 0$) と、ずれの生ずる頂点 ($e_i \neq 0$) とが区別され、形状の合同部分と相違部分を明示することができる。

(2) 頂点数の異なる場合

頂点数が異なるときには、重複して対応関係の求められる頂点に着目して類似部分(合同部分)の抽出を行い、類似性をより明確に表現できる。

近接頂点を有する立体との比較においては、一つの頂点に集中して重複した対応関係の定まる頂点が見れる。その際、これらの対応頂点を除いて残存する頂点から生成される形状の抽出が行われる。この抽出形状に対して再度、類似度を算出することで、類似部分を明示することができる。突出頂点がある立体の場合には、その頂点のみを除いた残存部分の形状を抽出する。ここでも再度、抽出形状に対して類似度を算出することにより、類似部分がより明白になる。

比較する立体形状によっては、頂点の重複した対応関係は求められるが、近接頂点や突出頂点が存在しない場合、または近接頂点は存在するものの、集中的に対応関係が求められる頂点がない場合がある。このときには、部分的な類似形状の抽出は行えず、形状全体としての類似性の判別となる。

4. 適用例

図1は、凸多面体Aに対して凸多面体Bを比較し、類似部分の抽出を行った結果である。立体B1は立体A1と頂点数が等しいため、重ね合わせの方法によって合同部分が抽出される。その結果、底面の形状が一致することが分かる。立体A3と立体B5の比較においても同様である。立体B2、B3、B4については頂点数が異なるため、重複して求められる対応頂点に着目して類似部分が抽出される。立体B2、B3には、












立体例	類似度	類似部分の抽出
A 1	B 1  $\mu = 0.114$ $\sigma = 0.064$ $f_n = 0.000$	重ね合わせ 
	B 2  $\mu = 0.181$ $\sigma = 0.102$ $f_n = 0.600$	近接頂点の除外 
A 2	B 3  $\mu = 0.108$ $\sigma = 0.112$ $f_n = 0.250$	近接頂点の除外 
	B 4  $\mu = 0.225$ $\sigma = 0.171$ $f_n = 0.125$	突出頂点の除外 
A 3	B 5  $\mu = 0.195$ $\sigma = 0.151$ $f_n = 0.000$	重ね合わせ 
	B 6  $\mu = 0.113$ $\sigma = 0.053$ $f_n = 0.500$	類似形状部分の抽出は不可能

図1 類似部分の抽出例

集中して対応関係が求められる近接頂点が存在する。したがって、これらの頂点の除外により類似形状部分が抽出され、この場合には一致することが示される。立体B4には突出頂点が存在するため、それを除いた直方体部分が抽出され、立体A2と合同形となることが分かる。また、立体A3と立体B6との比較の場合には、集中的に対応関係が求められる頂点がないので、類似形状部分の抽出は実行できない。

5. おわりに

本論文では、凸多面体形状の類似性をより明確に説明するために、類似部分の抽出法について考察した。比較立体の頂点数が等しい場合の重ね合わせの方法、ならびに頂点数が異なる場合の重複対応頂点に着目した近接頂点・突出頂点を除外する方法の適用により、類似部分が抽出され、類似度を明示的に記述できることを示した。今後は、本処理アルゴリズムを基礎として、一般の多面体形状の類似判別問題を処理する方法に発展させていきたい。

参考文献

- 1) 向井・古川他：凸多面体の類似判定について、精密工学会誌, Vol.58, No.6, pp.987~992 (1992)
- 2) 向井・古川他：凸多面体の類似性について-頂点数の異なる場合-, 1992年度精密工学会春季大会講演論文集, pp.833~834 (1992)