

アセンブリ構造を考慮した 3 次元 CAD モデルの類似性評価手法

北海道大学 ○三浦 岳, 金井 理

要 旨

本研究では, 3 次元 CAD で表現されるアセンブリを, 部品間の接触, 干渉, 拘束関係をアセンブリ構造として特徴抽出し, 構成部品毎の特徴と組み合わせることにより, アセンブリ間の類似性を評価する手法を提案する.

1. はじめに

従来の 3 次元モデルの類似検索研究例は, そのほとんどが部品単体の形状類似性を評価するものである[1]. 一方, 機械設計分野では, 複数部品のアセンブリとして 3 次元モデルが表現されているものが少なくない. しかし, 3 次元モデルのアセンブリ構造の類似性までを考慮した類似検索手法の研究はほとんど報告されていない. このような, 形状・アセンブリ構造の両者を考慮した類似検索には, 以下の要件が望まれる. 1) 両アセンブリ内で, 構成部品間の構造的な類似性を評価できること, 2) 一部の部品形状のみの相違や, 部品点数が異なるアセンブリ同士の類似性は高く評価されること, 3) 可動部品の相対位置や姿勢に依存せずに類似性を評価できること, である.

本研究では, これらの要件を満たすべく, 組立品の 3 次元モデルから構成部品間の接触, 干渉, 拘束関係, 並びに部品ごとの 3 次元形状を抽出し, これらの特徴量間の比較に基づき, アセンブリ構造と部品形状間の類似性を同時に評価可能な類似性評価手法の提案を目的とする. 本報では, CAD システムで定義されている接触, 干渉, 幾何拘束関係をもとに, 構成部品をノードとしたアセンブリグラフ表現を生成し, このグラフに基づいたアセンブリ間の類似度計算を行う手法を提案する. さらに, 前報[2]との類似度計算結果とを比較する.

2. アセンブリ構造を考慮した 3 次元モデルの類似検索手法

図 1 に示すように, 本研究で提案する検索手法は, アセンブリの構成部品間の接触, 干渉, 拘束関係と, 構成部品ごとの類似判定のための特徴量とを参照することで, アセンブリの構造類似性の比較を可能としている. これらの情報は, 一般的な CAD モデルのデータ表現から容易に計算できる.

本手法では, まず構成部品ごとの形状を表す特徴量を, 表面積, 体積, Angle Distance[3]によって表現する. 一方アセンブリ構造の特徴は, 構成部品間の接触, 干渉, 拘束関係からアセンブリグラフを作成し表現する.

2.1. 前処理

まず, 3 次元 CAD の API を用いて, 構成部品ごとの面分と体積, 及び部品間の干渉状況を取得する. また, 構成部品の表面上に点を均一に発生させる. その後, 以下に示す構成部品ごとの特徴量計算と, アセンブリ構造特徴量抽出を行う.

2.2. アセンブリグラフの生成

次に, 取得した情報からアセンブリグラフを作成し, これをアセンブリ全体の特徴量としてデータベースに格納する. この処理を以下の手順 1)~3)で行う.

- 1) 部品表面上に均一発生させた点から部品に対する Angle Distance[3]を計算する. Angle Distance とは, 3 次元モデル表面上に均一に発生させた 2 点間の距離と, 法線の内積の分布を 2 次元ヒストグラムとして表し, これを形状特徴とする手法である.
- 2) 構成部品 1 個に対し, アセンブリグラフのノードを 1 個作成する. さらに構成部品の体積, 表面積, Angle Distance を計算し, 各ノードへ部品の特徴量として付加する.
- 3) 図 2 に示すように, ノードに対応している構成部品間で以

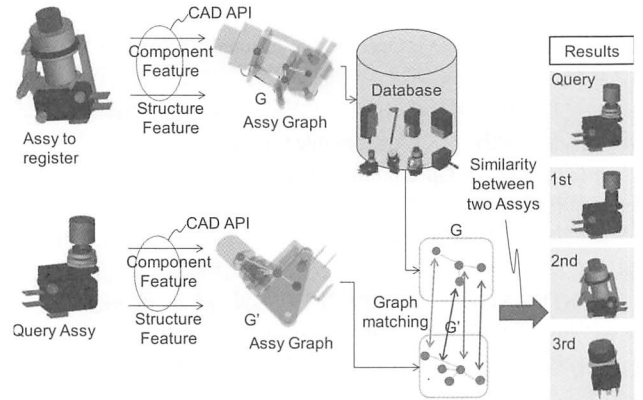
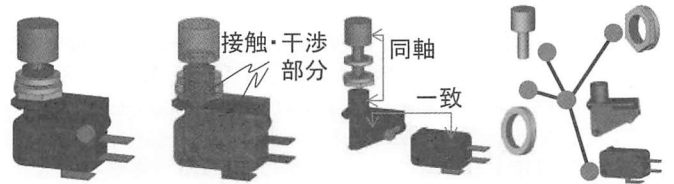


図 1 本研究の概要



(a)アセンブリ (b)部品間接触部分 (c)部品間拘束 (d)グラフ表現

図 2 アセンブリ構造のグラフ表現例

下の条件①, ②のいずれかを満たす場合, アセンブリグラフの対応ノード間にアークを生成する.

- ① 構成部品間に接触もしくは干渉関係がある.
- ② 構成部品間に何らかの幾何拘束関係がある.

2.3. 類似検索時のアセンブリグラフ間マッチング

図 3 のように, 各アセンブリモデル間の類似性を評価するためには, まずクエリ q とデータベース内のモデル m のアセンブリグラフ G_q, G_m を用いて 2 部グラフマッチングを行い, ノードのペアを見つける. マッチング方法は, 安定結婚問題を用いる. マッチング時に用いる自ノードの好意リストは, 相手グラフ内の各ノードとの部品間相違度が小さい順に並べられる. 2 つのアセンブリグラフ間で部品点数が異なる場合は完全マッチングにならないため, 婚約ノードペア集合 M と同時に, 独身ノード集合 NM が生成される.

2.4. アセンブリグラフ間相違度計算

これらの婚約ノードペア集合 M , 独身ノード集合 NM に基づき, アセンブリグラフ間相違度 F を式(1)で計算する.

$$F = \sum_{(n_i^q, n_j^m) \in M} volf_{i,j} W_{i,j} + FS \tag{1}$$

ここで, (n_i^q, n_j^m) はペア集合 M に含まれる部品ノードペア, $volf_{i,j} = (volf_i^q + volf_j^m) / 2$ は, 部品 n_i^q, n_j^m の体積比平均値, $W_{i,j}$ は部品 n_i^q, n_j^m の部品間相違度であり下式(3)で計算する. また構成部品の重要度は, アセンブリ全体の体積に占めるその部品の体積の比 $volf_i^q, volf_j^m$ と比例させるため, 体積比の平均値 $volf_{i,j}$ を重みとしている. 図 3 のように, 比較するアセンブ

りの構成部品数が異なる場合は、対応ノードのない独身ノードができるため、このノードについては、対応する部品単体相違度 WS_i を部品ごとに計算し、その総和 FS を相違度 F の評価時にペナルティとし、式(1)の第2項として加えている。この FS は、下式(2)で定義される。

$$FS = \sum_{n_i^q \in NM} \text{vol}f_i^q WS_i + \sum_{n_j^m \in NM} \text{vol}f_j^m WS_j \quad (2)$$

但し、 WS_i, WS_j は、アセンブリグラフ G^q, G^m においてマッチしなかった独身部品ノード n_i^q, n_j^m それぞれに対応する部品単体相違度であり、2.5節の式(4)で定義される。

2.5. 部品間相違度計算

クエリ q 内の部品 n_i^q と、データベース内のモデル m の部品 n_j^m との部品間相違度 $W_{i,j}$ は、下式(3)で定義される。

$$W_{i,j} = c_{SD} W_{i,j}^{SD} + c_{VD} W_{i,j}^{VD} + c_{AD} W_{i,j}^{AD} + c_{Adj} W_{i,j}^{Adj} \quad (3)$$

但し、 $c_{SD}, c_{VD}, c_{AD}, c_{Adj}$ は重みである。表面積の相違度 $W_{i,j}^{SD}$ 、体積の相違度 $W_{i,j}^{VD}$ 、Angle Distance 間の相違度 $W_{i,j}^{AD}$ は前報[2]で報告した方法で計算する。 $W_{i,j}^{Adj}$ は2.6節に示す連結部品群間相違度である。また、部品単体相違度 WS_i は、下式(4)のように、グラフ内の全ノードの特徴の総和に対する構成部品の特徴の割合に比例させている。

$$WS_i = \frac{c_{SD} Area_i}{\sum_G Area} + \frac{c_{VD} V_i}{\sum_G V} + c_{AD} W_{i,avg}^{AD} \quad (4)$$

但し、 $Area_i, V_i$ は独身ノードに対応する部品の面積、体積である。 $W_{i,avg}^{AD}$ は、独身ノードの Angle Distance と、アセンブリ内の全部品の平均 Angle Distance 間の相違度である。

2.6. 構成部品の連結部品群間相違度

図4に示す通り、マッチした部品ノードペア (n_i^q, n_j^m) の各ノードとアーク e_α^q, e_β^m を通じて隣接している1近傍ノード n_k^q, n_l^m の部品群間で、ペア集合 M に含まれている部品ペアの相違度を合計したものを部品ノードペア (n_i^q, n_j^m) に対する連結部品群間相違度 $W_{i,j}^{Adj}$ とし、式(5)で計算する。この $W_{i,j}^{Adj}$ は、周辺部品群間の相違度も含めた部品ペアの相違度を意味し、アセンブリグラフの部品配置構造の類似性を反映している。従って、類似検索に求められる要件1)を満足することができる。

$$W_{i,j}^{Adj} = \sum_{(n_k^q, n_l^m) \in M \wedge \text{adj}(n_i^q, n_k^q) \wedge \text{adj}(n_j^m, n_l^m)} \left\{ \text{vol}f_{k,l} (W_{k,l}' + W_{k,l}^{anc}) \right\} \quad (5)$$

ここで、 $\text{adj}(n_1, n_2)$ はアセンブリグラフ内のノード n_1, n_2 の隣接関係を表す。 $W_{k,l}'$ はノード n_i^q, n_j^m 各々の隣接ノード n_k^q, n_l^m 間に定義される周辺部品相違度で、式(6)で計算される。

$$W_{k,l}' = c_{SD}^{Adj} W_{k,l}^{SD} + c_{VD}^{Adj} W_{k,l}^{VD} + c_{AD}^{Adj} W_{k,l}^{AD} \quad (6)$$

さらに、 n_i^q と n_k^q 、 n_j^m と n_l^m 間のアーク e_α^q, e_β^m の接触、干渉、拘束関係 $p_\gamma^\alpha, p_\gamma^\beta$ の排他的論理和の総和を、式(5)右辺で用いる関係相違度 $W_{k,l}^{anc}$ とし、式(7)で計算する。

$$W_{k,l}^{anc} = \sum_{\gamma=1}^{\Gamma} (p_\gamma^\alpha \oplus p_\gamma^\beta) / \Gamma \quad (7)$$

ここで、 $p_\gamma^\alpha, p_\gamma^\beta$ は、 Γ 種類の拘束条件中 γ 番目の拘束関係の有無を、アーク e_α^q, e_β^m の属性として 0/1 で表した値である。

3. 実験結果

本手法の有効性を確認するため、シリンダの3D CADモデル群[4]のアセンブリ構造を抽出し、相違度 F_{new} を計算した結果と、前報の相違度 F_{old} の比較を図5に示す。クエリQに対して、部品構成が同一で、組付位置のみが異なる M_1 の相違度はゼロであり、同一であると判定されていることから、要件3)を満たしていることが分かる。またQに対し一部の部品形状が異なる M_2, M_3, M_4 の相違度が前報[2]より著しく低く、要件2)をより良く反映できたことがわかる。また、Qとはシリーズが異なるシリンダ製品 M_7, M_8, M_9 の相違度を比較すると、Qと部品構成が類

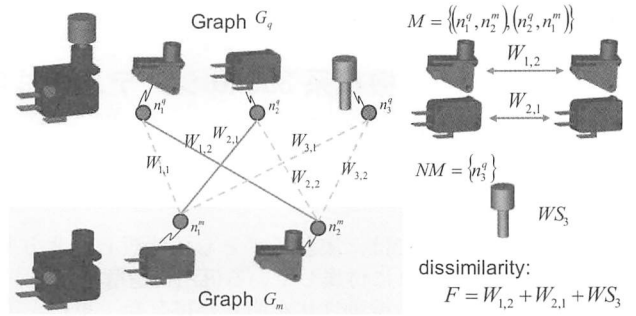


図3 2部グラフマッチング

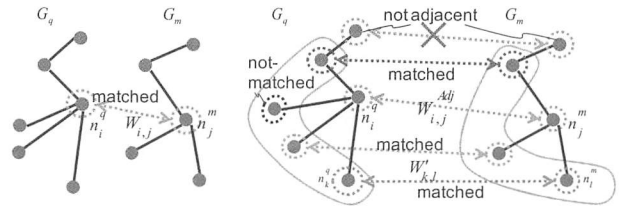


図4 隣接部品間の相違度

クエリQ	M ₁	M ₂
径32mmRod 50mm シリンダ (相違度) (前報の相違度)	部品付属箇別 $F_{new}=0.00$ $F_{old}=0.00$	付属部品別形状 $F_{new}=4.81 \times 10^{-3}$ $F_{old}=2.55 \times 10^{-3}$
M ₃	M ₄	M ₅
複数付属部品別形状 $F_{new}=7.03 \times 10^{-3}$ $F_{old}=0.224$	Dual Rod $F_{new}=0.0438$ $F_{old}=0.150$	Rod長さ 10mm $F_{new}=0.233$ $F_{old}=0.409$
M ₆	M ₇	M ₈
Rod長さ 200mm $F_{new}=0.476$ $F_{old}=1.10$	他製品1 $F_{new}=0.106$ $F_{old}=0.325$	他製品2 $F_{new}=0.270$ $F_{old}=1.79$
M ₉	M ₁₀	M ₁₁
他製品3 $F_{new}=0.550$ $F_{old}=1.73$	FA用スイッチ $F_{new}=6.12$ $F_{old}=12.1$	ハサミ $F_{new}=9.53$ $F_{old}=10.2$

図5 本手法と前報手法結果との比較

(重み: $c_{SD} = 0.4$, $c_{VD} = 0.4$, $c_{AD} = 0.1$, $c_{Adj} = 0.1$)

似する M_7, M_8 に対し、部品構成が異なる M_9 の相違度が高いことが分かる。また、Qとは形状も機能も全く異なる M_{10}, M_{11} の相違度は非常に高くなっていることから、要件1)を満たし、主観評価に即した類似性の評価もある程度可能なことが確認できる。なお今後の課題としては、検索目的に応じた重み付け制御方法の確立が挙げられる。

参考文献

- [1] Natraj Iyer, Karthik Ramani, et al, "Three-dimensional shape searching: state-of-the-art review and future trends", Computer-Aided Design (CAD), Vol. 37, pp. 509-530, (2005).
- [2] 三浦岳, 金井理, "アセンブリ構造を考慮した3次元モデルの類似検索," 2009年精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 151-152, (2009).
- [3] R. Ohbuchi, T. Minamitani, T. Takei, "Shape-Similarity Search of 3D Models by using Enhanced Shape Functions," Proc. Theory and Practice of Computer Graphics, pp. 97-104, (2003).
- [4] Dassault Systems SolidWorks Corp., 3D Content Central, <http://www.3dcontentcentral.com/Default.aspx>, (2009).