

大規模アセンブリモデルに対する閲覧向けモデル軽量化手法の開発

北海道大学 ○遠藤 維, 金井 理
株式会社 構造計画研究所 高橋将幸, 坂本英樹, 金谷尚輝

近年、3次元CADで作成された製品のアセンブリモデルを設計以外の目的で閲覧したいという要求があるが、部品点数が数百点以上の大規模なモデルは表示にかかるコストが大きい。そこで、多方向からのモデルのレンダリング結果を利用して、外側からはほとんど不可視の部品を自動的に抽出・削除することで、アセンブリモデルを高速に部品単位で軽量化する手法を開発したので報告する。

1. はじめに

近年、3次元CADシステムの普及に伴い、作成された製品のアセンブリモデルを、設計以外の目的でもCAD上で閲覧したいという要求が高まっている。しかしながら、部品点数が数百点以上の大規模モデルは、表示用にテッセレートされたメッシュの面分数が数百万にのぼることもあり、表示にかかるコストが大きくなるため、閲覧に不要な部品をアセンブリモデル内から自動的に削除する軽量化処理が必要となる。類似機能をもつ既存製品としてXVL[1]があるが、モデルの非可視部分を面分単位で削除するため、軽量化後のモデルをアセンブリ構造として保てずCAD上での閲覧が困難となる。

そこで本研究では、3次元CADのアセンブリモデルを、GPUを用いて複数方向から描画し、その結果を利用して、外側からは完全に又はほぼ不可視となっている部品を自動的に認識し、それ以外の部品（以下、外形部品と呼ぶ）を抽出することで、部品モデル単位で軽量化する手法を開発したので報告する。

2. 製品アセンブリモデルの外形部品抽出手法

2.1. 手法概要

図1に、製品のアセンブリモデルに対する外形部品抽出手法を示す。アセンブリモデルは N_j 個の部品をもち、各部品は、あらかじめ部品CADモデルのSTL形式でのexportにより、部品毎の3次元メッシュモデル M_1, M_2, \dots, M_{N_j} に変換されているものとする。まず、アセンブリモデルの形状から、描画スケールと部品描画色、およびユーザが定義した N_j 個の描画方向（ビュー）を決定する（図1-A1）。次にこの描画設定に基づき、OpenGLを用いてカラーバッファおよびデプスバッファ上にアセンブリモデルを描画する（図1-A2）。さらに、得られた各画素のカラー値・デプス値から、各部品に対する特徴量（部品可視率、部品占有率、部品デプス値）を算出し、しきい値処理によって外形形状を抽出する（図1-A3）。以下に、その詳細を示す。

2.2. GPUへの描画プロパティの設定 (A-1)

本手法では、全てのビューにおいて、モデルの一部が欠けることなく、定められたサイズ（640 x 640画素に設定）のバッファ上に描画される必要がある。このため、アセンブリモデルのバウンディング・ボックスの対角線長がバッファの縦（横）の画素数に一致するようにモデルをスケールし、平行投影によってモデルを描画する。

カラーバッファは、各画素において、どの部品が視点からみて最も手前に描画されたかどうかを調べるために用いる。各部品は、部品番号に一对一対応する単一色によって、ライティング効果を無効にして描画するものとする。このため、部品番号を12ビット符号なしバイト型として表現し、これを4ビットずつR, G, Bの各値に割り当てたものを、この部品に対応する描画色とする。

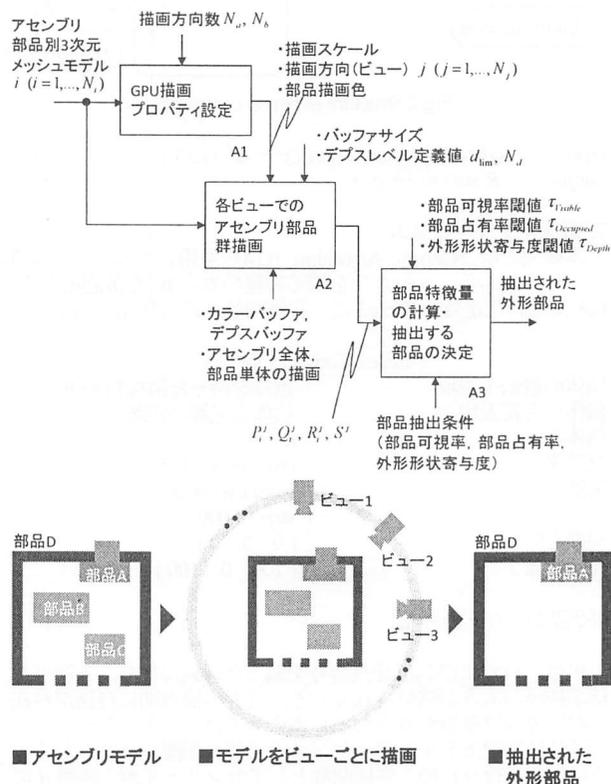


図1 提案手法の概要

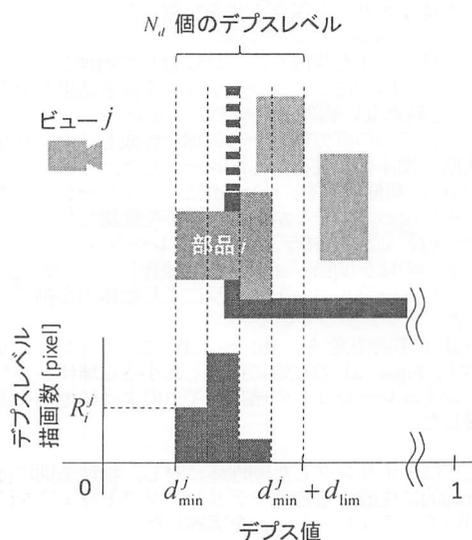


図2 デプスレベルの設定

閲覧する全ビューに対してモデルの描画を行うことは不可能であるため、モデルの重心点を中心とし、緯線および経線方向にそれぞれ N_a 、 N_b 分割された球面の各頂点を視点位置とする N_j 個のビューを定める（注視点はずべてモデルの重心点とする）。本研究では、 $N_a=4$ 、 $N_b=8$ とし、 $N_j=26$ のビューを用いる。

2.3. 各ビューでのアセンブリ部品群の描画 (A2)

前節で定めた設定に基づき、各ビューにおいて、アセンブリモデル全体の描画、および各部品単体の描画をおこなない、以下の値を求める。

1. P_j^i : ビュー j において、部品 i を単体で描画した際の、 i の占有画素数
2. Q_j^i : ビュー j において、アセンブリモデル全体を描画した際の、部品 i の占有画素数
3. R_j^i : ビュー j において、アセンブリモデル全体を描画した際の、部品 i が描画されている各デプスレベル（後述）がもつ描画数の中の最大値。ビュー j で部品 i が描画されなかった場合は 0 とする。
4. S_j^i : ビュー j において、アセンブリモデル全体を描画した際の、モデル全体の描画画素数

ビュー j において、アセンブリモデル全体を描画した際の、デプス値の最小値 d_{\min}^j からユーザ定義値 d_{\max}^j までの範囲を、ユーザ定義値 N_d^j 個の区間に分割した各区間をデプスレベルと定義する（図 2）。各デプスレベル内にデプス値をもつ画素数（デプスレベル描画数）がビューごとに計算される。なお、デプス値は、視点からみて手前にあるほど小さい値をもち、 $[0,1]$ に正規化されている。本研究では、 $d_{\min}^j = 0.05$ 、 $N_d^j = 20$ とした。

2.4. 部品可視特徴量の計算、削除部品の決定 (A3)

以上より、各部品に対し、アセンブリモデル描画時における部品可視率 $F_i^{Visible}$ 、アセンブリモデル全体に対する部品占有率 $F_i^{Occupied}$ 、およびアセンブリモデルの外形形状への寄与度 F_i^{Depth} を式(1)-(3)のように算出し、これらを各部品の部品可視特徴量とする。

$$F_i^{Visible} \equiv \max_j (Q_j^i / P_j^i) \quad (1)$$

$$F_i^{Occupied} \equiv \max_j (Q_j^i / S_j^i) \quad (2)$$

$$F_i^{Depth} \equiv \max_j (R_j^i) \quad (3)$$

部品可視特徴量、およびユーザが定めたしきい値 $\tau_{Visible}$ 、 $\tau_{Occupied}$ 、 τ_{Depth} から、式(4)の条件を満たす部品を、外側から可視となる可能性が低い部品と考え、削除対象とする。

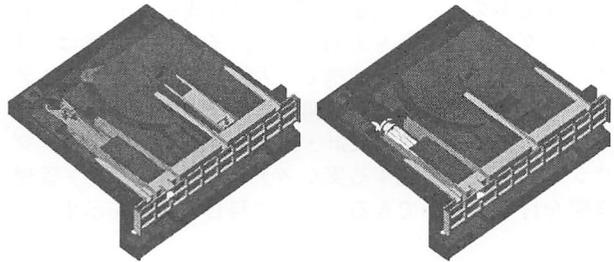
$$(F_i^{Visible} < \tau_{Visible}) \vee (F_i^{Occupied} < \tau_{Occupied}) \vee (F_i^{Depth} < \tau_{Depth}) \quad (4)$$

3. 外形部品抽出結果

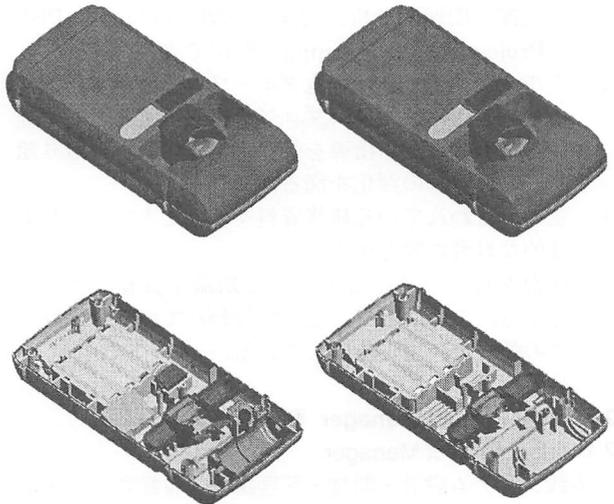
表 1 および図 3 に、複数のアセンブリモデルに対する外形部品抽出結果を示す。ここでは、 $\tau_{Visible} = 0.7$ 、 $\tau_{Occupied} = 0.1$ 、 $\tau_{Depth} = 100$ とした。いずれのモデルに対しても、外側からは完全に不可視、もしくは不可視に近い部品のみを削除し、アセンブリモデルの外観を損なうことなく頑健に外形形状を抽出することが可能となっている。特に、ガスコンロのような複雑かつ大規模なアセンブリモデルに対しては、7 割近くの部品を 1 分強で削減できており、表示を行うのに適当な面分数まで、高速にモデルを軽量化できたといえる。

表 1 外形部品抽出結果。使用した PC のスペックは、CPU: Intel Core2Duo 2.4GHz, RAM: 3GB

モデル	軽量化前		軽量化後		処理時間 [s]
	部品数	面分数	部品数 (減少率)	面分数 (減少率)	
バルブ	4	64794	3 (25%)	60234 (7%)	3
オイルポンプ	9	21042	8 (11%)	20086 (5%)	2
電源装置	6	38874	6 (0%)	38874 (0%)	2
グリル	7	49034	4 (43%)	41916 (15%)	3
脈波計	59	123566	24 (59%)	58200 (53%)	10
ガスコンロ	451	1527496	144 (68%)	692872 (55%)	69



(a) グリル (断面図)



(b) 脈波計 (下段は断面図)

図 3 アセンブリモデルに対する外形抽出結果。いずれも、左側がオリジナルモデル、右側が部品削除後のモデル

4. おわりに

本稿では、GPU を用いた複数ビューからの描画により、外側からは完全に不可視、または不可視に近い部品を自動的に削除し、外形部品のみを抽出することで、3 次元 CAD のアセンブリモデルを軽量化する、高速かつ頑健な手法を開発し、その有効性を確認した。

参考文献

- [1] XVL-system-toolkit, <http://www.lattice.co.jp/ja/product/customiz.html>.