

アニメーション付き CAD モデル検索のためのデータ構造の提案

上田 宏也[†] 片山 薫[†]

[†] 東京都立大学システムデザイン研究科情報科学域 〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6

E-mail: [†]tueda-hiroya@ed.tmu.ac.jp, ^{††}kaoru@tmu.ac.jp

あらまし 近年では CAD ソフトを利用して動く工業製品の表現の為アニメーション付きの CAD モデルが製作されている。アニメーション付きモデルを保存するファイル形式は多機能なデータ形式が用いられており、形状表現にも、通常 CAD モデルのデータとして用いられる単純なデータ形式に比べ、複雑なステップを踏み計算されるため検索に利用しにくいデータ構造である。本稿ではこのようなアニメーション付き CAD モデル検索のためのデータ構造を提案し、またアニメーションする CAD モデルの保存に使用される代表的なフォーマットの一つである FBX ファイル形式を、提案するデータ構造に変換する手法を開発した。

キーワード マルチメディア、3D モデル、CAD モデル、アセンブリモデル、アニメーション

1 はじめに

従来 3 次元モデルは製造業等の精密さを求める分野と映像等のデザインやイメージを伝えるための分野で利用されてきた。それぞれの分野では異なる利用目的から、異なった形式で 3 次元モデルが活用されてきた。本論文では前者を CAD モデル、後者を CG モデルと呼ぶ。

CAD モデルは、製造や建築、医療などの幅広い分野で利用されており、蓄積された膨大なデータを効率的に管理するために検索手法やデータベース設計の研究が盛んにおこなわれている。そのような、CAD モデルの検索手法として 3 次元形状を小さな三角形集合体で表現するメッシュ構造を利用した、モデル形状の検索が多く提案されている [1]。また機械設計などで作られる自動車などの CAD モデルは、複数の部品を組み合わせた配置構造を持つことが多く、このようなモデルのことをアセンブリモデルと呼ぶ。アセンブリ構造は木構造を成し、ここではアセンブリモデルの木構造の葉にあたるモデルを部品と定義する。

一方 CG モデルは映像、ゲームなどで利用されており、形状以外にも様々な情報を扱える多機能なデータ形式が用いられ、より様々な描写や表現を行うための研究が行われてきた [2][3]。近年では、ソフトウェアの発展によりその垣根が低くなってきており、3dsMax[4] や Fusion360[5] といった CAD ソフトはアニメーションなどの表現が行えるようになり、Maya[6] や Blender[7] といった CG ソフトは工業製品等の設計にも対応した。そして現在では、動く工業製品の表現の為、アニメーションする CAD モデルが製作されるようになっている。そのようなアニメーション付き CAD モデルに対して管理、検索のアプローチをするためにはモデルを保存するデータ形式を決める必要がある。上記の様な CAD ソフト及び CG ソフトはそのソフトウェア独自の保存形式を持ち、独自の環境に依存するモデルであるため、読み込むソフトウェアの種類やバージョンによって、データが変化及び欠損する問題がある。そのため、研究

データは中間的でソフトウェアに依存しない保存形式を利用する必要がある。

本論文では、アニメーション付き CAD モデルの検索のためのデータモデルの探索及び、既存のデータ形式の問題点に着目し、アニメーション付き CAD モデルの検索に適したデータ構造の提案を行う。

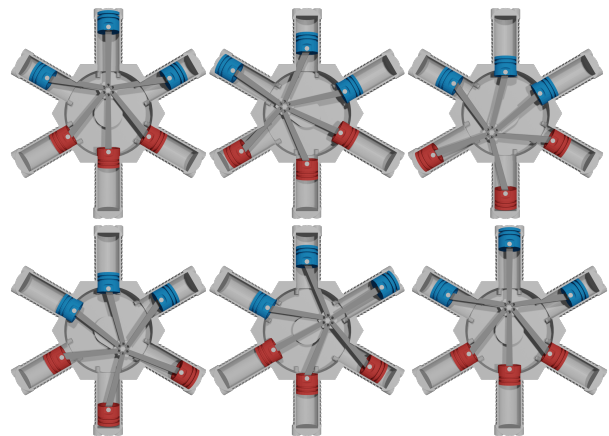


図 1 星型エンジンのアニメーション付きモデルデータ

図 1 は、CAD モデルの共有を行うコミュニティサイトである GRABCAD[8] にて共有されていた step 形式にて保存されている星型エンジンを、Blender(var.2.83.4) を利用して、スケルトン及びアニメーションを追加したものである。

2 関連研究

Mchenry ら [9] は様々な 3D モデルのファイル形式について調査を行なっている。ここで上げられている代表的な 3 次元モデルのデータ形式として、Maya[3] や Blender[4] が提供するファイル形式の .mb や .blend はアニメーションするアセンブリモデルを表現可能である。しかしながら、提供されている 3DCG ソフトウェアに依存する不安定なデータ形式であるため、3 次元モデル管理のファイル形式には適していない。その

ためアニメーションする CAD モデルを表現可能でありながら、ソフトウェアに依存しない中間的なデータ形式に保存された検索モデルを準備することが本研究の目的である。

Bustos ら [1] は CAD モデルの検索について纏めており、CAD モデルの検索のために多くの研究がなされて来た。一般的な 3 次元モデルの検索手法の多くは形状を識別することに重点を置いており、3D モデルのアニメーションを考慮した検索手法の研究はあまり行われておらず、発展途上にある。佐波ら [10] は、CAD モデルの構造をもとに、アセンブリモデルに基づき、時間ごとのモデルの形状および姿勢を計算することでコンピュータ内に機織機のアニメーションの再現を行い、3dsMax[4] や Fusion360[5] といった CAD ソフトでは、CAD モデルにアニメーションをつけ、精密な動きを付ける環境を提供している。このように、工業部品をアニメーションし、CAD モデルの動作イメージをコンピュータ内で表現することへ需要は存在し、そのデータを効率的に管理するためのデータモデルの提案が必要であると考えられる。

豊泉ら [11] アニメーション付きアセンブリモデルのレイアウト情報を考慮した検索手法の提案を行っており、アニメーション情報を用いて各フレームにおけるモデルのラドン変換、フーリエ変換後のパワースペクトルを再現しアニメーション時のアセンブリモデルの特徴量計算の処理時間の短縮が行い三次元モデルのアニメーション情報を利用した検索手法の有用性を示している。しかしながら、この検索手法にはアニメーション時のモデルの形状情報ではなく、静止するモデルの形状をアニメーション後のモデルの形状に計算するための独立したアニメーション情報の準備が必要である。

3 既存のデータ収集手法の問題点

既存の検索手法及び管理手法を扱う上で 3 次元モデルからデータを読み出す手法は大きく二つに分かれる。

方法 1: モデリングソフト及び 3D ビューワから形状情報等を出力したデータを利用する。

方法 2: STL 等の中間的なファイル形式をデータとして利用する。

方法 1 は、3D ソフトウェアから形状情報やアニメーション情報を出力する方法である。方法 2 に比べ、様々なファイル形式からデータを取り出すことが出来る利点があるが、入出力をソフトウェア独自のインターフェース依存するため、データの正確性に難があり、収集効率も悪い。方法 2 は、3D モデルの受け渡し等に利用される、読み込みをソフトウェアに依存しないファイル形式を利用する方法である。既存の静的モデルの検索及び管理手法の対象データとして CAD モデルを 3 次元形状の小さな三角形集合体で保存する STL 形式が活用されている。動的モデル検索に対しても同様に検索対象となるデータ形式を決定する必要がある。

3 次元モデルを保存可能なデータ形式は現在百種類を超えるが、そのほとんどのデータ形式は独自の 3D ソフトウェアに読み込みを依存することや、ファイルの内部情報が公開されてい

ないため、検索のためのデータとして利用できない。それらに該当しないデータ形式の中で、アニメーション情報を保持可能であり、一般的に利用されている FBX 形式に注目し、問題解決へのアプローチを行った。

4 既存のデータ形式の問題点

本章では、アニメーションする CAD モデルを保存できるデータ形式の代表的なものとして、CG モデルの保存に利用される FBX 形式を例としてその構造及び用語についての説明を行う。ここで扱う 3DCG の用語及び FBX で利用する用語に関しては、説明を表 1, 表 2 に記述する。FBX 形式はアニメーションする CAD モデルを始め、3DCG で扱えるように様々な属性を持った 3 次元モデルを保存する、ソフトウェアに依存しない中間的なファイル形式であり、幅広く活用されているため、データベースとして利用可能であれば有用なファイル形式である。

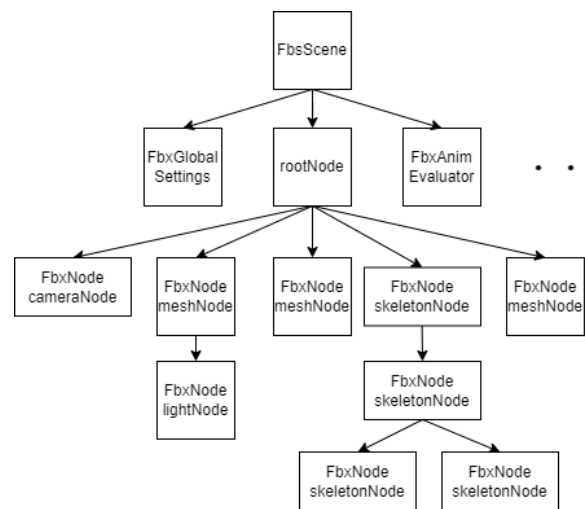


図 2. FBX ファイルのデータ構造

図 2 は FBX 形式でのデータ構造の例である。CAD モデルの一般の保存形式として利用される STL 形式はポリゴンを構成する頂点のインデックス情報と各頂点の座標情報の二つの配列から構成されるのに比べ、FBX 形式では 3DCG を表現するために必要な情報を保存するために多くのノードから形成される木構造になっている。この木構造にはモデルの内部構造を表すノードには明確なフォーマットがなく、モデルの製作者によってノード配置が異なる。またカメラや、ライトを表すノード等、モデルの形状以外の情報も多く混在しており、スキニングされたモデルのアニメーション情報を得るためには、以下の手順を踏む必要がある。

(1) スケルトンノードとメッシュノードを探索。

(2) メッシュノードのメンバ関数を利用しスキニングされたウェイト情報を呼び出し、リスト化されたウェイト情報から、影響を受けるスケルトンノードを辿る。

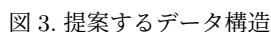
(3) アニメーションを管理するノードである AnimationEvaluator を呼び出し、そのメンバ関数に特定したスケルトンノードを受け渡すことで、アニメーション情報を取り

以上のことから動的モデル検索のために、必要となる形状データやアニメーションデータにアクセスしにくく、FBX 形式を検索データとして扱うことは勧められない。アニメーション付き CAD モデル検索のためには、より必要な情報にアクセスしやすく、シンプルなデータ構造が求められる。

スケルトン	複雑な形状を持つモデルのアニメーションを行う際に用いられ、ボーンから構成される階層構造のことを指す
ボーン	スケルトンの構成要素、リンクされたメッシュはこれに追従する
メッシュ	小さな三角形の集合体で表現された部品の形状情報
スキニング	メッシュとスケルトンをリンクさせることを指す
ウエイト	スキニングされたメッシュがどのボーンに追従されるかをリスト情報で示す

Scene	FBX を構成する木構造の根である。
MeshNode	メッシュ、スキニング、ウエイト情報が格納されている。
SkeletonNode	ボーンの情報を格納しており、このノードの 集合がスケルトン構造を成している。

以上の項を踏まえ本稿ではアニメーションする CAD モデルを効率的に検索可能なデータ構造 (図.3) を提案する。

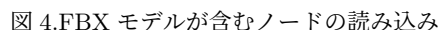


ため、ボーンの集合であるスケルトン構造を利用することで、全ての頂点座標に対してアニメーションフレーム毎に変化後の座標を保持する必要がなく、シンプルで検索の応用性に富んだデータ構造となる。

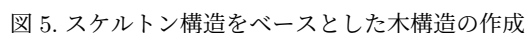
6 FBX から提案するデータ構造への変換

6.1 FBX モデルが含むノードの読み込み

FBX ファイルのデータ構造は図 1 の通りであり、FbxScene に対して深さ優先探索を行うことで、図 4 のように FBX モデルに含まれる全てのノードが取得できる。またノードに含まれる属性をフィルタに掛けることで、目的の情報を持つノードを取り出すことができる。



取得したノードの中から `SkeletonNode` の属性を持つノードの集合を探し、その最上階のノードを `Root` の子ノードとして、木構造のベースである図5を作成する。



MeshNode からウエイトのリンク情報にアクセスし、図 6 のように各 MeshNode に対してウエイトを持つ SkeletonNode を探し作成した木構造にリンク付けを行う。FBX では SkeletonNode から関連付けられた MeshNode にアクセスすることが出来ないため、MeshNode のウエイトの情報にアクセスし、スキニングされた全てのボーンの中から影響を受ける SkeletonNode

を特定を行い、SkeletonNode が影響を与える MeshNode を結びつける。

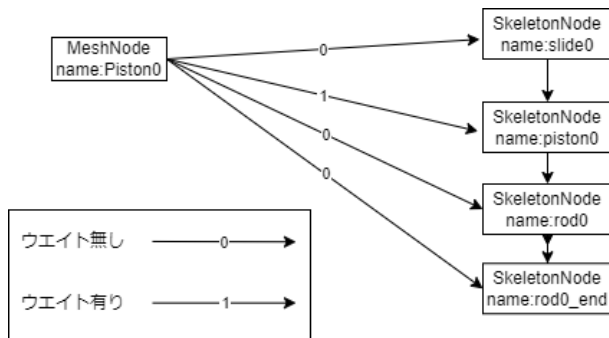


図 6.MeshNode とウエイト情報で関連付けられた SkeletonNode

6.4 作成した木構造にアニメーション情報を紐づける

SkeletonNode にはアニメーション情報が保存されていないため、FbxScene から AnimationEvaluator にアクセスし、メンバ関数に引数として各 SkeltetonNode を与えることで、各ボーンのアニメーションフレームごとのグローバル座標情報を呼び出し、作成した木構造のノードに保存する。得られるアニメーションフレームごとの座標変換行列は図 7 のような 4×4 の行列の集合で表される。

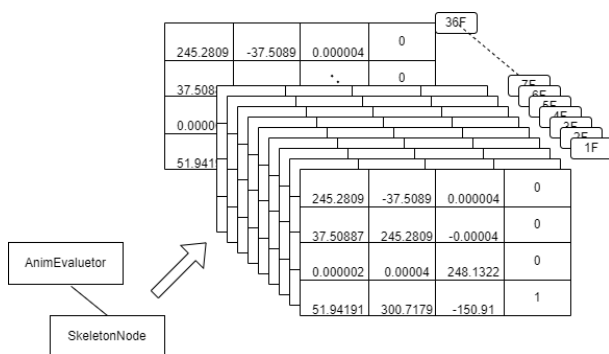


図 7. 星型エンジンモデルのクランク部分に対応するボーンのフレームごとのグローバル座標行列

6.5 完成したデータ構造

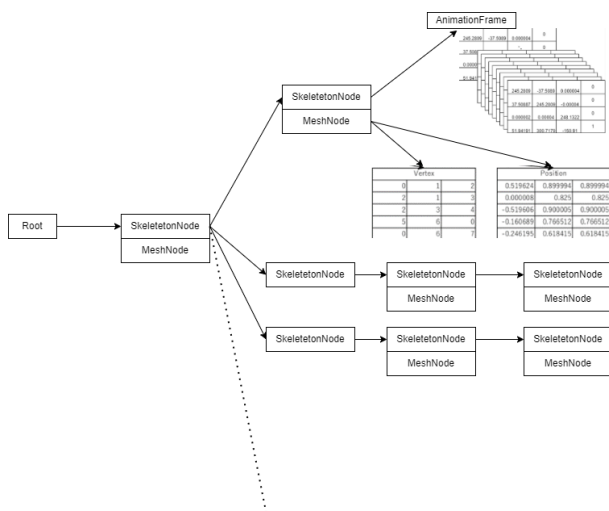


図 8.FBX から提案するデータ構造への変換したデータ

作成したデータ図 8 は、アニメーションモデル検索に適した、ボーンとそれにリンクして動作する形状情報、アニメーションする際のフレームごとの座標変換行列にまとめてアクセス可能なデータ形式である。提案手法を利用することで、FBX 形式をアニメーションする CAD モデルの検索データとしての活用ができ、今後検索データモデル及びそのデータベースの準備手法の改善につながると考える。

7 おわりに

本研究では、アニメーション付き CAD モデル検索に使うデータ収集の課題を、データ構造の提案及び FBX ファイル形式を利用して変換手法を実装することで解決した。また部品形状の変形を伴わないアニメーション付きの CAD モデルに対して、動的情報の抽出が容易となるデータ構造をスケルトン構造を利用して提案を行った。3次元モデルの用途は未だ発展途上であり、今後も用途に従って、新たな属性が付与された3次元モデルが登場することが考えられる。

3次元モデルに付与されている属性に沿ったデータ構造の提案は、今後とも進化し続け増加する3次元モデルデータの管理及び検索手法の構築に必要であると考えられる。

文 献

- [1] Bustos, B., Keim, D. A., Saupe, D., Schreck, T., Vranić, D. V. "Feature-based similarity search in 3D object databases." ACM Computing Surveys (CSUR), 37(4), 345-387.2005.
- [2] Jessica K. Hodgins , Nancy S. Pollard "Adapting Simulated Behaviors For New Characters" SIGGRAPH97 153-162, 1997
- [3] 桑原明栄子, 牧野光則, "CG アニメーション用誇張表現作成補助システムの提案", 芸術科学会論文誌 Vol.2, No.1, pp.21-30, 2006.
- [4] Autodesk 3dsMax "https://www.autodesk.co.jp/products/3ds-max/overview"
- [5] Autodesk Fusion360 "https://www.autodesk.co.jp/products/fusion-360/overview"
- [6] Autodesk Maya "https://www.autodesk.co.jp/products/maya/overview"
- [7] Blender "https://www.blender.org/"
- [8] GRABCAD, "https://grabcad.com/library/"
- [9] K.mchenry and P.Bajcsy, "An Overview of 3D Data Content, File Formats and Viewers" Image Spatial Data Analysis Group National Center for Supercomputing Applications 1205 W Clark, Urbana, IL 61801
- [10] 佐波 晶, 進藤 幸裕, 北嶋 克寛, "アセンブリモデルを用いた手機織機の表現", 精密工学会誌 Vol.73, No.12. pp.1362-1368, 2007.
- [11] 豊泉 翔太郎, 平島 栄志, 片山 薫, "アセンブリ構造をもったアニメーション CAD モデルのレイアウト情報を考慮した検索" DEIM2022 A 44-3.
- [12] Autodesk FBXSDK "https://www.autodesk.com/developer-network /platform-technologies/fbx-sdk-2019-5"