

〔論文〕

衝突検出による組立経路生成と可視化ソフトウェアの試作

足立 康志*¹

Assembly path generation and prototype visualization software
by the collision detection.

Yasushi ADACHI

Abstract

In this paper, the assembly path search problem, which has been researched using plane space and graph space, was applied to a three-dimensional space assembly. The researcher investigated the possibility of generating and constructing an automatic assembly path using collision detection. Although the algorithm used in this study is an ordinary one often used in assembly path generation research, the researcher found it possible to conduct complicated calculations with the use of a sophisticated computer, and by decreasing the number of calculations needed through careful observation of the nature of the parts. Results show that the researcher was able to confirm assembly path generation using minimal examples. The researcher concludes that although the current study conducted experiments using 2D+1 axis collision detection, in the future if it is possible to detect all 3D+3 axis collisions, automatic assembly will be possible.

Key Words : Assembly Path,detect collision ,Generate pathes,Boxel Visualizer.

1. はじめに

部品の設計がCADなどで行われ、詳細設計、構造解析、公差検証、動作解析などがコンピュータ上で扱われるようになり、部品の構成要素として円筒や面などの情報を属性として持ち、結合面や公差を表現することで、合致、結合、回転、擦動などの動きを解析することが可能となっている。しかし、部品の組立作業の過程に必要な情報は不完全である。もちろんどのような手順でどのような生産機器を使用するかは設計者自身が把握しているはずであるが、多くの場合CADでそこまで踏み込んだ記述をすることはなく、設計者が考慮して設計しているにすぎない。

以前の研究では部品属性と属性同士の関係から組立手順を生成し、組立自動化の検討を行った。[3][4][5]しかし、この研究では形状や空間という概念が不完全であり、設計者が考慮できる明確な属性であれば記述されることもあるが、設計者が意図していない範囲で組立に影響される属性があっても、設計者が気づかないかぎり属性が記述されることはなく無力であった。

本研究では以前の研究で用いた部品の属性情報に加えて3DCADのポリゴン情報を用い、広域空間の衝突解析をもとにして、ロボット等による部品の組立可能性評価や組立経路の生成を行うことを試み[1][2]、衝突探索空間の削減手法とその計算量の考察について述べる。

2. 組立に用いる基本情報

部品形状の特性から組立部品の結合関係を記述し、それらをネット構造にすると、探索問題として扱えるようになる。これにより組立手順をコンピュータで生成することが可能となる。[3][4][5]

しかし、形状とその意味をコンピュータで読み取るのは難しく、人でも読み取れないほど巧妙な構造を持っていることすらあり自動化は困難であることが多い。意味を読み取るためには設計者の記述に依存せざるを得ないのだが、設計

*¹ 情報ネットワーク工学科
平成27年11月30日受理

者の気が付かない部分の組立可能性の検証や組立経路の生成の支援を行うためには、設計者の意図の入らない形で解析できる方が望ましい。

よって本研究では、設計者の知識となる組立意図を解析することは避け、確実に情報を得られる部品形状のみを用い、単純な衝突解析によって組立経路の生成と評価を行うこととする。

この研究で使用されるものは、部品形状を記したポリゴン情報をもとに生成したボクセル情報と部品の初期位置と最終組立位置、および姿勢の情報のみとなる。

3. 衝突判定に使用する形状データの扱い

一般的に部品形状に用いられるのが3DCGでよく使われるポリゴンのデータである。DXF形式など機械部品設計CADで用いられる形式もポリゴンデータを扱う。また、物理的形状を表現する際には、医療用などで使われるボクセルを用いたボリュームデータというものもよく使われる。

ポリゴンは三角形を基本とした平面データの集合体であり、ボリュームデータは立方体のボクセルを三次元的に並べたデータである。ポリゴンは表面データの集まりなので、内部物質という概念がなくて表現できないが、頂点はfloat型の数値で表現されており、その範囲で高精度の頂点位置を記述することができる。ポリゴンの衝突判定はポリゴンの3頂点を行列計算することで得られるが、部品に使用されるポリゴン数はかなり大きいものがあり、そのポリゴン同士の衝突判定を行うための計算量も非常に大きい。計算量を軽減するためにはマップ法などを用い、ボクセルに近い概念で空間を分割定義して、判定するポリゴン数を減らすなど様々な手法があるが、本質的にポリゴン数が多くなると衝突判定の計算コストもポリゴン数の二乗で大きくなる。

ボクセルは内部まで詰まった構造を表現することができるが、ボクセルの大きさは柔軟に変化させることが出来ず、ボクセルのサイズより細かい構造を表現することが出来ない。ボクセルの衝突判定は同空間に属するボクセルを照合するだけでよく、計算量も重ね合わされた空間のボクセル数だけで良い。しかし、ボクセルの大きさで精度が決まっており、精密な部品であればボクセルの大きさも小さくせざるを得ず、それによって計算量が大きくなる。特にすりあわせ部品のような密着した形状の場合は非常に高精度が必要となるため、ボクセル数が非常に膨大になってしまい事実上使用できない。そのような場合は属性を用いた特殊ボクセルや部分的な高精度ボクセルという例外処理が必要となる。

4. ボクセル可視化および編集ツール

本研究ではボクセルベースで衝突検出と経路生成を行う。そのため、簡易な可視化および編集を行うためのツールを試作した。(図1, 図2)

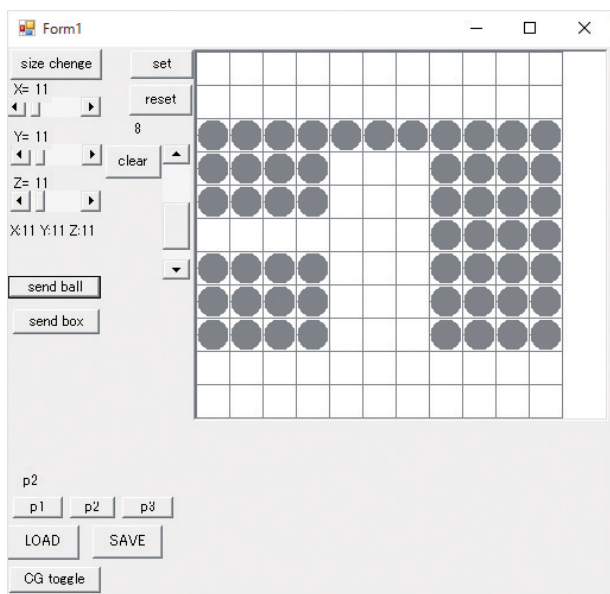


図1 ボクセル編集

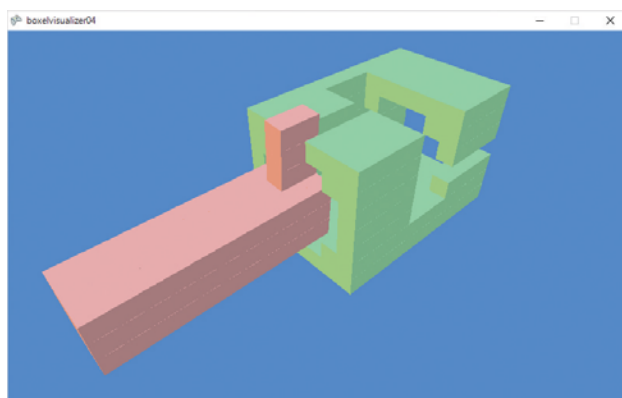


図2 ボクセル可視化例

ビデオカードの3D機能で表示させるためには、ボクセルをポリゴンに変換させる必要がある。3Dグラフィックスの環境はいくつかあるが、主要なものとしてマイクロソフトのDirectXライブラリ系とオープンソースのOpenGLライブラリ系がある。また、それらを、あるいは両方を使用可能なプログラム開発環境もある。今回は過去に使用したマイクロソフトのDirectX系であるXNA GameStudio4.0Refreshを使用している。

まだ制作していないものもいくつかあり、ポリゴン-ボクセル変換ツールなど順次、作業環境を整えていく予定である。

5. ボクセルデータ化から経路生成までの手順

経路生成までの手順は以下のようになる。

① ポリゴンからのボクセルサイズの算出

ボクセルが小さいほどポリゴンに忠実な形状を表現できるが計算量が増える。移動空間を塞がない程度のポリゴンサイズを選定する。ただし、原理上無限にポリゴンを細かくするしか完全に表現する方法はないので、実的に必要な大きさを算出するアルゴリズムの開発を目指す。

② ポリゴンのボクセル変換

ポリゴンの頂点情報からボクセルの占める空間を埋める。

③ 閉領域の削除

部品、あるいは半組立品に外部から閉鎖された空間があっても経路が存在しないため検証は必要ない。そのため、閉鎖空間をあらかじめ削除する。

④ 検証必要領域の定義

2つの部品が互いに重ならなければ衝突することはなく、検証する必要はない。また、いかなる姿勢でも必ず重なる場合にも、必ず衝突することが分かっているのでやはり検証する必要はない。それ以外の重なりの有無が判別不能な部分だけが検証が必要な領域であり、ここを検証領域とする。

⑤ 移動可能領域の生成

ボクセルのパターンマッチングで2つの部品の重なりを調査し、部品がその位置に存在が可能なことを検証する。自由度に応じた姿勢の変化も含めて検証する。これにより部品の移動可能領域が生成される。姿勢の変化があるので、必要となる計算量は非常に大きい。現時点では姿勢の変化軸を減らして試行を行なっているが、最終目標は3次元姿勢全部の解析である。

⑥ 移動可能領域の細線化

移動可能領域は存在可能な空間の集合体であるが、部分的な情報を捨てて細線化することで近傍の存在可能空間の代表とする。この利点は大きさを持つ空間を、線と分岐というリンク形式にすることができ、探索問題として処理できることにある。

⑦ 経路の最適化

経路は部品の初期位置から開始される線である。初期位置から最終位置まで経路が存在すれば、その部品は組み立て可能であることが証明できる。経路が存在しなければ組み立ては不可能である。これは組立可能性の検証である。複数の経路があれば、それらの経路から、距離や姿勢変更などのコストを元にして、最適な経路を算出するための基本情報となる。

6. 経路生成手順の一例

モデルを用いて、経路の一例を示す。モデルの部品が図3、図4であり、組立の移動状態を図5～図10に示す。

図5から図9までが部品の最終到達位置までの移動経路の例である。

図10の上部が移動経路を示す。移動経路は本来であればX,Y,Z,Pitch,Roll,Yawの6次元が必要であるが、この例では図10の左右方向が部品のX軸平行移動、上下方向が部品の回転Rollを表している。本来、部品の移動経路は自由空間上では無限に近い組み合わせが存在するが、あえて細線化により近傍の部品の存在可能空間を消去し、中心線だけを残すことによって、リンクとして経路を表現する。リンクならば探索によって最適化が可能となり、自動化や設計者の支援に役立てることができる。存在可能空間の情報そのものは保持しておき、後のリンクの最適化に使用する。

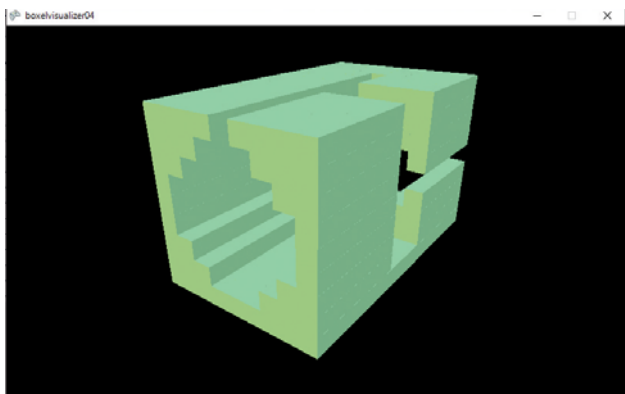


図3 挿入部品例

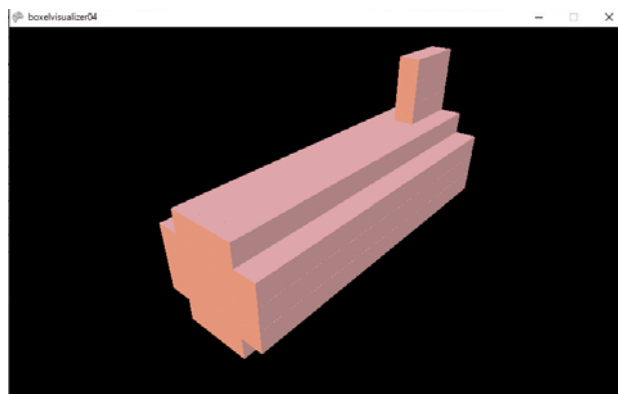


図4 ベース部品例

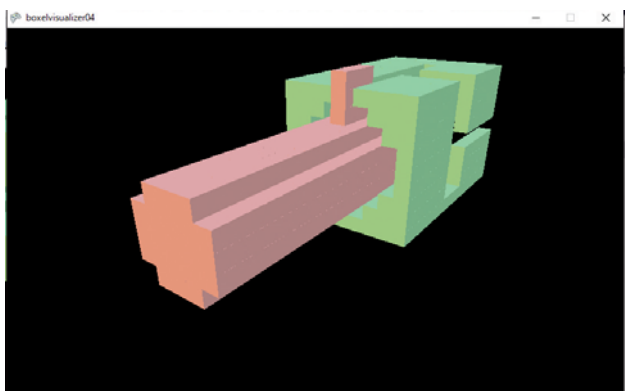


図5 組立開始

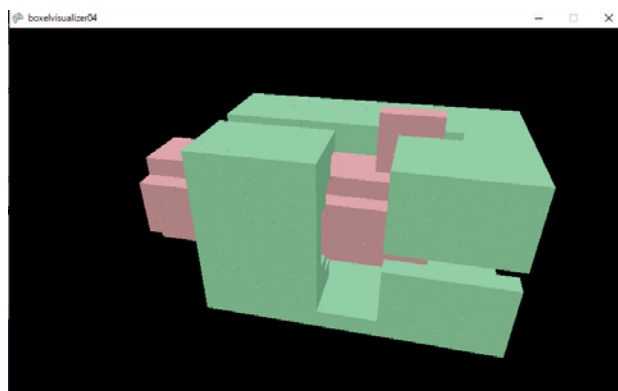


図6 平行移動 行き止まり

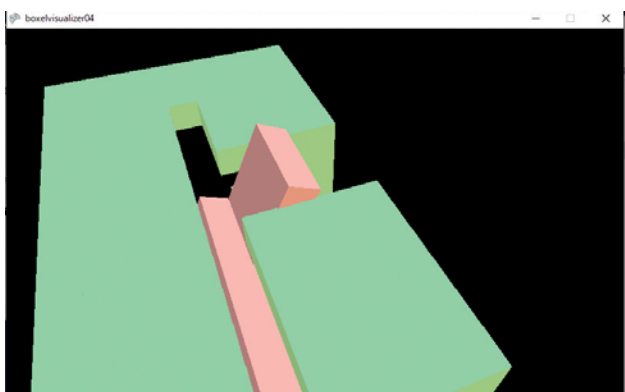


図7 回転移動

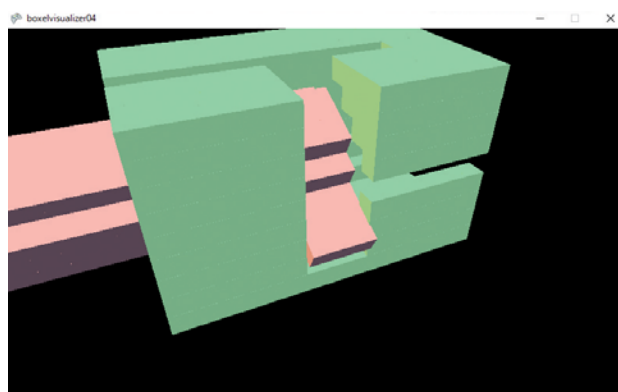


図8 回転移動 行き止まり

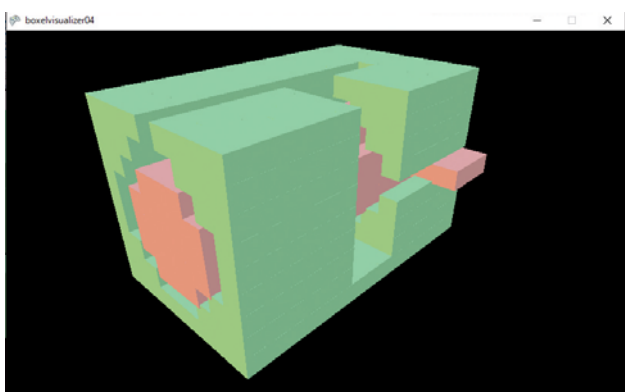


図9 最終到達位置

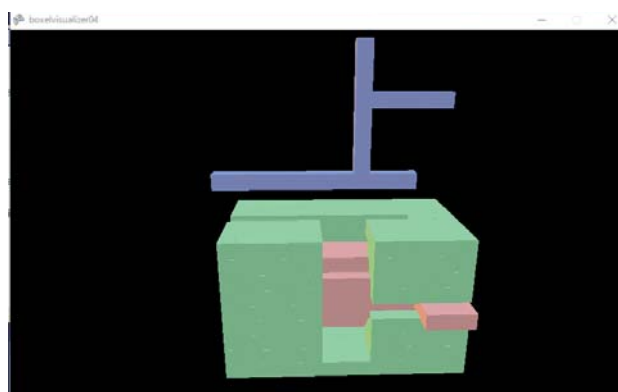


図10 経路の表現

7. 移動可能空間の細線化

移動可能空間は3次元空間であり、姿勢も含めると6次元となる非常に広大な空間である。従って、すべての空間の衝突検出が可能だとしても、広大な空間が生成され、そのままでは利用が困難である。そのため、画像処理でよく使用される細線化手法を利用して、3次元空間上の線へと変換する。実際の移動可能空間は広大であるが、その中の中心を線として残し、近傍の空間の代表として扱う。最適化の際には移動可能空間の範囲内で線を移動させ、要求に応じたコストの低い線へ調整する。図11では部品の通る通路をわざと広くして、ある程度動き回れる領域を増やしてみた。そうすると移動できる範囲が広くなり、図11の上部にある移動可能領域のように太く見え、移動可能領域が広がっているのがわかる。また、図12の細い線が図11の太い移動可能領域を細線化したものである。部品の前後左右方向の移動が移動可能領域の前後左右方向で表され、部品の回転角度が移動可能領域の上下方向を表している。部品の上下方向もある程度は移動可能だが、CGでは3次元以上は表現できないので省略した。図12上部の移動経路は、部品の左右方向と奥行き方向の移動、ROLL軸の回転角を表現したものである。

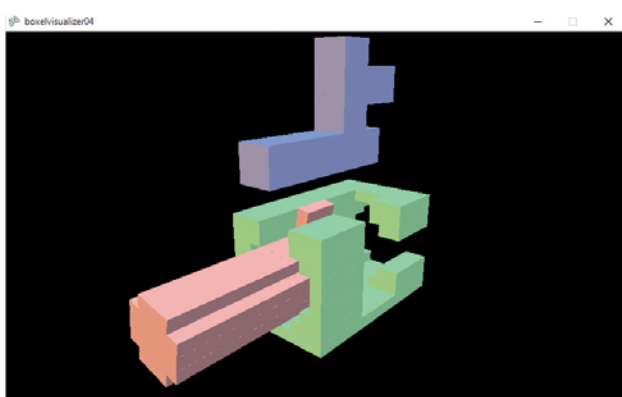


図11 移動可能領域（上のブロック）

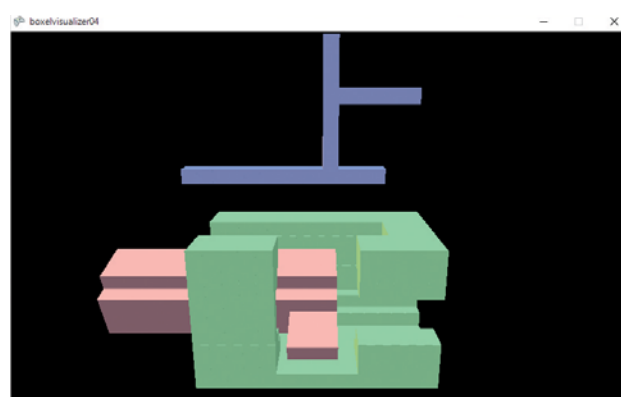


図12 細線化による移動経路の生成

8. 検証空間の削減と高速化

5. で述べたが、本来であれば6次元で n^6 という非常に大きな空間の衝突判定を行わなくてはならないため、計算量は非常に大きくなる。しかし、離れた重なる部分がない部品位置であったり、逆に必ず重なる部分が存在する部品であれば、判定を行うまでもなく結果が出るので、検証空間を削減することができる。

① 閉空間の削除

外部との繋がりが無い領域は移動不可能なので削除する。ケースの内部などが相当する。完全に閉鎖された空間であれば自動的に閉空間を見つけ削除することが可能だが、一部でも開いていると自動では削除できない。空気穴など小さい穴が開いているだけならば④で削除する。

② 重ならない空間の削除

部品が専有するボクセル領域とベースの部品ボクセルが重ならない場合は、必ず存在可能である。従って詳細に検証する必要はない。その分だけ検証の演算量を減らすことができる。

③ 充填法

2つの部品の重なった部分で、ボクセル数をカウントする。重なった部分のボクセル数が重なった空間の大きさより大きければ、必ず衝突する。

④ 最大最小部分法

各点で存在できる空間の最大径、部品の最小径を各ボクセル地点で求める。空間の最大径より部品の最小径が大きければ必ず衝突する。

これらの削減手法のあとで、実際のパターンマッチングが行われることになる。他にも手法はあると思われるので順次検討していく。また、昨今のスパコンなどで用いられているマルチコア、マルチスレッド、SIMD、MIMDなどの大量演算手法を導入すれば、一次元から二次元多い空間を処理することができると考えられる。

9. まとめ

本研究では、部品の形状情報をボクセル形式として扱い、移動可能空間を分析して、その移動可能空間から経路を生成するという考察を行った。今回は典型例を用いて計算コストと引き換えに移動可能空間が自動で解析されること、経路がリンクとして形成されることを示した。

部品の衝突判定による組立経路生成は、すべての場所、全ての姿勢での衝突解析で、衝突しない場所をたどることで経路探索を行う非常に計算コストの大きい手法である。最終的には3次元3軸姿勢の全解析が目標であるが、今のところ制限を加えなければ実用的にはならないと思われる。計算量の少ない手法を探し、計算機の性能の向上を期待して精度と自由度を広げていきたい。

参考文献

- [1] 足立康志, "CAD 部品の衝突判定による組立可能性と組立経路の解析", 第33回日本ロボット学会学術講演会, 1G1-02, 平成27年9月
- [2] 足立康志, "衝突検出による組立経路生成の探索空間の考察", 平成27年度電気・情報関係学会九州支部連合大会, 08-2A-06, 平成27年9月
- [3] 足立康志 長澤勲 荒牧重登 黒野繁 長田一興 "組立手順生成のための製品の組立構造表現法", 日本機械学会論文集, 61巻592号C編, 平成7年12月.
- [4] Isao Nagasawa Yasushi Adachi Toru Morita Shigeto Aramaki Shigeru Kurono "Representation of a Product Assembly Architecture for Assembly Sequence Generation", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.8 No.5 (平成7年6月)
- [5] Tatsuichiro Nagai, Isao Nagasawa, Shigeto Aramaki, Yasushi Adachi, "An Assembly Structure using Functional Element for Product Assembly Sequence Generation", Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Computer and Information Technology, 平成18年9月.
- [6] 田中和明他, "仮想空間における機械部品の組立可能性と可視化による機構の検証システム", 情報処理学会論文誌, Vol. 38 No. 10, 1997Oc
- [7] 福地正樹他: "三次元環境における複数移動ロボットによる搬送計画 (第2報: 近似セル分解とポテンシャルを用いた大域的経路計画)", 第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 1027-1028 (1999).