

論文の内容の要旨

論文題目 Reconstruction of Two-Manifold Geometry from Wireframe CAD Models

ワイヤースケルトン CAD モデルからの 2 次元多様体幾何の再構成

氏名 井上 恵 介

曲面や立体形状を意図して作られたワイヤースケルトンモデルから、曲面・立体モデルを構築するためのグラフ理論的な手法を提案した。この手法は、ワイヤースケルトンの位相情報すなわちワイヤースケルトンの接続関係を最大限に活用し、それによって、しばしば副作用を伴う幾何情報の利用を抑制することを特徴とする。また、発見的な手法の利用を、それ以外の手法がないかあっても極端に非効率である場合に限定し、決定論的な手法の利用を追求した点も特徴である。

従来の手法では、ワイヤースケルトンを面ループの集合として解釈する際に、曲線の幾何情報や発見的ルールを利用していた。そのため複数の解釈を統一的に扱うことができなかつたり、生成される曲面形状が平面に限定されたりという問題があった。

本論文では、入力ワイヤースケルトンについて、3つの位相的なクラスを、順に拡張するかたちで議論する。第一は2連結な平面グラフである。これについてはまず、3連結要素分解という手法を利用して、位相的な球面へのグラフの埋め込みを組合せ的にすべて生成する。各埋め込みは面ループの集合であり、ワイヤースケルトンの2次元多様体としての解釈を定義している。その後、生成したすべての解釈について各面ループに幾何情報（曲面）を決定する。そしてこれらすべての解候補の中から、幾何的基準に照らして合理的なものを選び、単純な解釈を優先する方針で1つまたは複数の解を出力する。

次に議論したのは、2連結な非平面グラフである。現時点で非平面グラフの埋め込みを

生成する汎用のプログラムが世の中にないため、新たな複合的アルゴリズムを提案し実装した。基本になるのは **embedding extension** という手法であり、球面上に埋め込めない部分グラフである **Kuratowski** グラフの、さらに一部を骨組みとし、その骨組みのトーラス面上へのあらゆる埋め込みからグラフ全体の埋め込みへと成長させてゆく方法である。種数が 2 以上のグラフを扱うためには、新たに **embedding development** という方法を提案して実装した。上記の骨組みから部分埋め込みを成長させる過程で、適当な **path** (経路) をあらゆる方法で埋め込むことで、種数が増える場合を考慮するものである。この方法は種数が小さい場合には実用的であることがわかった。

第三に議論したのは、連結度の制約を取り払った一般のグラフである。これらのグラフは、2 連結なブロックもしくは **tree** (木) の集合に分解するという前処理を経て、従来の手法で解を生成する。そして、得られたブロックごとの解を曲面の幾何的マッチングを根拠に貼り合わせ一つにするというものである。

本論文で提案した手法は、以下の 4 つの面で優位性がある。1) 複数解の扱い：一般のワイヤースケームは、位相的には 2 次元多様体曲面としての解釈を複数持つ場合が多い。実際はそのうちのごく一部が幾何的には妥当なわけだが、本手法ではすべての位相的解釈を組み合わせたに生成した。この処理は数値誤差の影響を受けることもなく、完全であり、特殊な場合を除き効率もよいことが検証された。2) 曲面の多様性：グラフの埋め込み生成は完全に位相的な処理であり、幾何には左右されない。従って、解を構成する面ループは、幾何的にどのような曲面に乗っていようと構わない。本手法の実装においては、平面につづき基本 2 次曲面 (球、正円筒、正円錐) へのあてはめを試み、それでもだめな場合はメッシュを使った曲面生成アルゴリズムを用いて自由曲面として解釈した。3) 解の絞り込みの柔軟性：位相的に生成された解候補 (2 次元多様体) には、幾何をあてはめると矛盾があるものが多く含まれる。これらに対して、幾何的な指標と発見的ルールを適用することで、絞り込みと優先度づけを行なった。すべての解を一旦作った後に行なうので、指標の変更や絞り込みの再現は対話的に何度でも行なうことができる。4) 入力位相的制約の撤廃：基本となる 2 連結平面グラフの処理に 2 つの拡張を加えることによって、入力ワイヤースケームの位相に関する制約を撤廃することができた。グラフの埋め込みを使った従来の手法が 3 連結な平面グラフのみを対象としていたことを考えると、実用という観点から大きな進歩である。

最後に、本研究の手法は、(立体の境界に相当する) 閉じた曲面ばかりでなく、開いた曲面にも適用可能である。機械設計たとえば自動車などの設計においては、複雑な曲面形状をワイヤースケームによって定義するのが一般的であり、その過程で利用すれば処理の効率化が期待できる。もちろん、過去数十年にわたって蓄積されてきた膨大なワイヤースケームモデルを再利用する際にも、本手法は有効である。