403

複合意匠形状のリバースエンジニアリングに関する研究

－特徴線操作に基づく曲面の生成－

北海道大学工学部　○白須義紀　楢原弘之　五十嵐悟

要旨

本研究は意匠設計において、試作品として作製した実物模型である物理モデルから計算機モデルを生成することを目的としている。今回の報告では曲面形状の特徴をあらわす線群を操作することによって、設計者の意図する特徴に沿った曲面形状に修正する手法を提案する。

1．緒言

近年、工業製品にも意匠性や人間工学を考慮した設計を行なうことが求められるようになり、自由曲面を多用した複雑な形状が多く用いられてきている。

このような製品の設計においては、ＣＡＤのディスプレイ上だけではデザイナーが不具合等を発見することが難しい。そのためＣＡＤにより設計した形状を試作し、その試作品を実際にデザイナーが直接試作品に触れることによって評価をおこなう必要がある。その多くの場合は不具合の修正がおこなわれる。

この試作品の修正データを含めた形状データをＣＡＤデータとして一元的に管理することが、製品開発・製造の能率化・自動化という観点から必要とされている。

これを実現するためのプロセスとしては、まず試作品の形状を、３次元入力装置を用いて点群データとして入力する。そして点群データから、面を生成して幾何的な情報を与えることによって、ＣＡＤモデルを生成するといったことが必要となる。

しかし３次元入力装置によって測定した、試作品の点群データから曲面を生成した場合、計測ノイズや平滑化誤差の影響により、局部にただれやうねりが生じ、デザイナーが意図した形状と異なるものになる場合がある。従来このような際には、曲面のコントロールポイントを変更することによって曲面の修正を行っていたが、この方法では元々デザイナーがイメージした曲面上の特徴的な形状を再現する事はむずかしい。

そのため本報告では、曲面の形状の特徴をあらわす線（以下特徴線）を利用し、その特徴線をデザイナーが意図するように変更することによって、曲面を修正する手法を提案する。

2．曲面修正手法

2．1　特徴線

今回は曲面の特徴線として曲率極値線[1]を利用した。曲率極値線は視点などに影響されない曲面形状固有の稜線であり、曲面の見えかたに大きく影響していることが知られている。曲率極値線は曲率が極値となる曲率線上で主曲率値が極大・極小になる点を結んだものとして定義される。つまり曲率線の方程式（１）と、主曲率の方程式（２）を微分した等主曲率線の式（３）とを連立した式（４）の解として与えられる。

$$(MG-NF)dv^2-(GL-NE)dudv+(LF-ME)du^2=0 \quad (1)$$

$$\phi \equiv (EG-F^2)\kappa^2-(EN+LG-2MF)\kappa+(LN-M^2)=0 \quad (2)$$

$$d\phi=\phi_u du+\phi_v dv=0 \quad (3)$$

$$(MG-NF)\phi_u^2-(GL-NE)\phi_u\phi_v+(LF-ME)\phi_v^2=0 \quad (4)$$

E,F,G：一次規格量 L,M,N:二次規格量

2．2　特徴線の修正

２．１で述べた曲面上の特徴線群を自動刻み幅付きRungeKutta法によって求め、それぞれの特徴線をｍ階のB-Spline曲線で表現する。デザイナーは特徴線群の中で形状の変更を行いたい箇所を、対話的な方法で各特徴線の任意の制御点を移動することにより修正する。特徴線の多重点（交点）を動かした場合には影響を受ける線も同時に修正がおこなわれる。

2．3　曲面の修正

本研究では、対象とする曲面としてｍ階のB-Spline曲面を用いる。曲面$S(u,v)$のN_v個の移動可能な制御点$\mathbf{V}_i(x_i,y_i,z_i)$に関して定義した評価関数$f(\mathbf{V})$ $(\mathbf{V}=(x_1,y_1,z_1,\ldots,x_{Nv},y_{Nv},z_{Nv}))$を最小化することによって曲面の修正を行う。評価関数の最小化手法としては導関数を用いる必要のない、滑降シンプレックス法（ポリトープ法）[2)3)]を用いた。

2．4　評価関数

修正された特徴線形状に沿った曲面を生成するため、修正された特徴線とそれに対応する曲面上の点との距離を小さくする基準を考え、評価関数を定義する。

修正前の曲面$S_0(u,v)$上の特徴線群を$C_i^0(s)$

$(i=1,2..N_c)$、特徴線群修正後の特徴線群を$C_i(s)$と表わす。$C^0(s)$と、$C^0(s)$を修正して得られた$C(s)$は、曲面の(u,v)パラメータ平面上で同じ値をとることとすると、修正された各特徴線とそれに対応する曲面上の点との距離の関数として（5）式を与える。

$$f(\mathbf{V})=\int |S(u,v)-C_i(s)|\,ds \qquad (5)$$

また特徴線群の中で、デザイナーによって修正が加えられた部分を、他の修正されなかった部分に対して強調するために、修正箇所に対し重み付けを行う。修正された特徴線に対する距離関数に重み係数$w(\geq 1)$を掛けた評価関数を用いる。修正された特徴線群を$C_i^*(s)(i=1,2..Nc^*)$、修正されなかった特徴線群を$\overline{C}_i^*(s)$と表わすと、評価関数は（6）式で与えられる。

$$f(\mathbf{V})=w\sum_{i=1}^{Nc^*}\left(\int |S(u,v)-C_i^*(s)|\ ds\right)+\sum_{j=1}^{Nc-Nc^*}\left(\int |S(u,v)-\overline{C}_j^*(s)|\,ds\right) \qquad (6)$$

（6）式を評価関数として最小化を行なうことにより、修正された特徴線形状に沿って最適化された曲面の制御点$\mathbf{V}_i(x_i,y_i,z_i)$を得る。

3．実行結果

図1に示した16個の制御点から成るB-Spline曲面に対して、図中太線で示した一本の特徴線を変形した後、（6）式を評価関数として重み関数を変えて最小化計算を行い曲面形状の修正を行なった。この際、境界の制御点を拘束することによって、境界の位置は固定した。

その結果を図2のa $(w=1)$及びb $(w=10)$に示す。図2中の太線は修正された曲面上での特徴線を、細線は修正後の曲面、薄線は修正前の曲面を等パラメータで格子上に表わしたものである。

また、表1は同様の条件で重み関数を$w=1,5,10,50$と変えて曲面形状の修正を行った結果の、修正した特徴線の距離関数と、すべての特徴線の距離関数の和を表わしたものである。

表1および図2中の特徴線群の変化から解るように、重み係数を大きくすることによってデザイナーによって修正された箇所が、曲面形状に強く反映されて生成されるていることがわかる。反面、重み係数を大きくとると、修正を加えなかった箇所の形状特徴にも影響を与え、全体の距離関数の総和も大きくなってしまうことがわかる。このため重み関数はデザイナーが修正箇所をどの程度強調したいかによって、適当に設定することが必要となる。

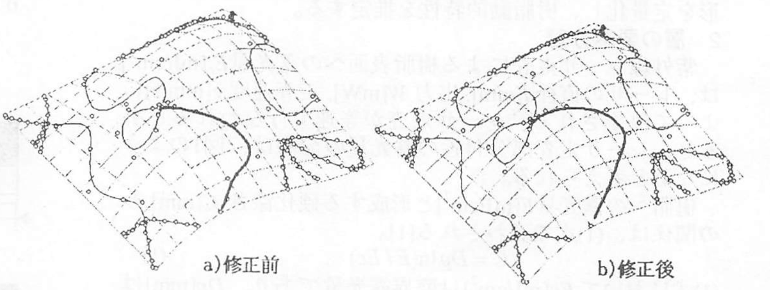
4　結論

1）評価関数の最小化手法によって、曲面形状の特徴線を操作することで曲面形状を修正する手法を提案した。

2）修正をおこなった特徴線に対して重み係数を用いた評価関数を用いることによって、設計者の意図した形状を強く反映する曲面修正が行なえることを確認した。

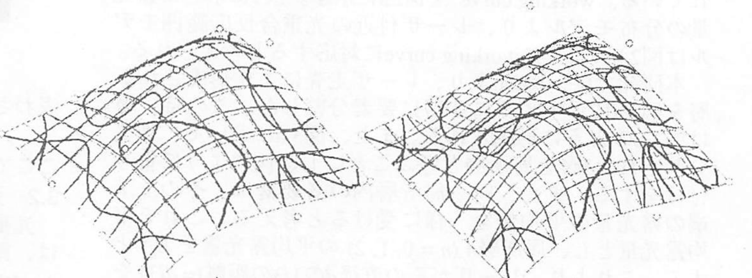
表1）重み係数と距離関数値

重み関数	$w=1$	$w=5$	$w=10$	$w=50$
修正特徴線	0.127	0.094	0.081	0.076
総和	0.435	0.598	0.767	0.936



a)修正前　　b)修正後

図1）特徴線の修正



a) w＝1　　b) w＝１０

図2）曲面修正結果

参考文献

1）東正毅，近藤学：曲面の基本的性質の解明と美的意匠曲面の評価，精密工学会誌59,3(1993) pp.73-79

2）加藤郁夫，山口泰，木村文彦：映像線の幾何学的特徴量最適化による自由曲面の自動修正法，1993年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集

3）W.H.Press,B.P.Flannery,S.A.Teukolsky and W.T.Vetterling:NUMERICAL RECIPES in C（日本語版），技術評論社　pp.282-338