H-021

凸多面体を対象にした線画の 3 次元形状推定
Three-dimensional shape estimation of line drawings for convex polyhedra

牛川 祐弥† 森 博志† 外山 史† 東海林 健二†
Yuya Ushikawa Hiroshi Mori Fubito Toyama Kenji Shoji

1. はじめに

CG が身近になっている現在でも，形状を説明する図は線画であることが多い．これは，CG で作成したリアルな画像よりも，3 次元形状の的確な伝達に適しているからである．2 次元線画から 3 次元形状を推定する手法はコンピュータビジョンの分野で多くの研究が進められてきた．しかし，これらの多くの研究では隠線が消去されていると 3 次元形状の推定が出来なかった[1][2]．そこで本研究では，推定線画の対象を凸多面体とし，隠線が消去された状態でも，3 次元形状の推定を行えることを目指す．今回の実験ではすべての面が正多角形で構成されている凸多面体を対象に，隠線が描かれている線画からの 3 次元形状の推定を行った．

2. 提案手法

文献[3]で述べられているように，人間は線画を表現するコード長を最小にするような 3 次元物体を知覚する傾向がある．このことから，人間は 1 枚の線画からある評価関数が最大になるような 3 次元形状を知覚しようとすることがわかる．これは，線画の幾何学的測度を評価値にした最適化探索問題である．本手法では，遺伝的アルゴリズムを用いて，1 枚の線画から人間の知覚と一致するような奥行きを類推して 3 次元形状を推定する．図 1 にフローチャートを示す．

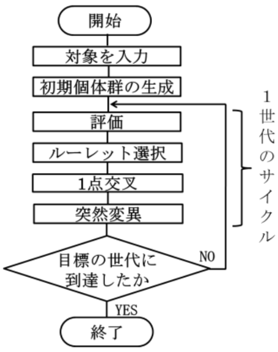

図 1：フローチャート

3 次元形状を推定するために，2 次元線画の頂点座標および頂点番号と，どの頂点番号とどの頂点番号がエッジを構成しているかを示すエッジ情報と，どの頂点集合が，面を構成しているかを示す面情報を，入力として与える．そして，入力された情報より，遺伝的アルゴリズムを用いて，各頂点の z 座標を推定する．すべての個体の頂点の z 座標の初期値を乱数で与え，次の 2.1 節で述べる評価関数によって，個体を評価する．選択法は個体群中の各個体の評価値とその合計を求めて，評価値の合計に対する各個体の割合を選択確率として個体を選択するルーレット選択を用い，交叉には一点交叉を用いる．そして最後に小さな確率で突然変異を行う．これらを 1 世代のサイクルとし，決められた世代の数だけ，この工程を繰り返す.

2.1 評価関数

線画の 3 次元形状を決定する要因として，線分間角度や線分長，面の面積，3 次元空間内での角度が考えられる．本手法では，
(1) それぞれの面を構成するエッジ間角度
(2) エッジの長さ
(3) 面の平面性
の 3 つを要因として考え，それらを評価して 3 次元形状を推定する．

2.1.1 エッジ間角度

文献[1]で述べられているように，以下の図のような線画を平面図として見た場合，線分間角度の種類は多数存在する．一方，これを 3 次元の線画として見た場合，角度はすべて 90 度となり，立方体として知覚できる．このことより，人間の視覚は，線分間角度が一定のまとまりのある図形を知覚するという仮説が考えられる．このことを利用して，面を構成する各エッジ間の角度のラジアン値を計算し，その値の分散が小さい時に評価値が高くなるように評価値を設定する．

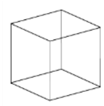

図 2：Necker の立方体

2.1.2 エッジの長さ

2.1.1 と同様の考えで，面を構成するすべてのエッジの長さを計算し，分散が小さい時に評価値が高くなるように評価値を設定する

2.1.3 面の平面性

文献[4]で述べられているように，人間は 4 個以上の頂点とそれらを結ぶ線分によって構成される面は，3 次元空間上で同一平面上に存在すると認識する傾向がある．そこで，本提案手法では，主軸法を用いて，ループが平面に近くなるほど評価値が高くなるような項を評価関数に加える．具体的には面を構成する頂点集合の重心が原点に来るように平行移動をし，各頂点の x-y-z 座標の共分散を計算し，その最小固有値の小ささによって，その頂点集合の平面性を知ることができる．すなわちこの場合，3 つの固有値のうち最も小さいものが頂点集合に平面をあてはめた時の平面からのずれとなる．また，
面の大きさによる，最小固有値の依存を防ぐため，面の xy 平面への投影面積の総和により正規化を行うこととする．
面の平面性f_{lp}を以下に定義する．

†宇都宮大学，Utsunomiya University

$$f_{lp} = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{m} \lambda_k}{\sum_{k=1}^{m} S_k}$$

ここでmは頂点数 4 個以上のループの数で，頂点数 4 個以上の面に対して，面番号 k=1 から m まで番号を付けるものとする．λ_kは面 k の頂点集合の共分散行列の最小固有値，S_kは面 k を xy 平面に投影して出来た多角形の面積である．平面性f_{lp}はすべての面が 3 次元空間内でそれぞれ平面上にあるときに最大値 1 をとり，平面からのずれが大きいほど小さな値になる．

3. 実験結果

今回の実験では，3 次元形状を推定する線画の対象を，双 3 角錐，正 5 角反柱， 4 角錐柱，5 角錐柱，隠線有の正八面体，隠線無の正八面体とし，文献[5]で公開されている座標データを用いた．個体数を 1000，世代数を 100，交叉が起こる確率を 95%，突然変異が起こる確率を 5%とする．実行結果は，右手座標系をとり，入力線画と推定された 3 次元ワイヤーフレームを示している．また今回の推定結果が良好かどうかの判断は人間の知覚と一致するかしないかで判断した．図 3 に実験結果を，表 1 に実験で用いた凸多面体の情報と推定結果が良好であるかを示す．実験結果を見てみると，頂点数が増えるにつれて，面の平面性が保たれておらず，3 次元形状の推定がうまくいっていないことがわかる．また隠線が消去されている場合では，見えている部分の形状は推定出来ていることがわかる．

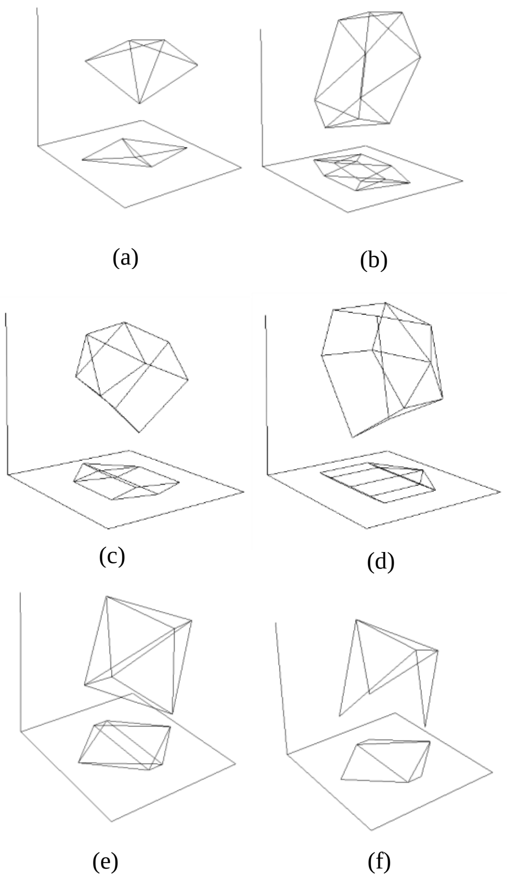

図 3：(a)双 3 角錐 (b)正 5 角反柱 (c)4 角錐柱(d)5 角錐柱(e)隠線有の正八面体(f)隠線無の正八面体，3 次元形状推定結果

表 1 ：実験データと推定結果の判定

	頂点数	エッジ数	面の数	結果
a	5	9	6	○
b	10	20	12	○
c	9	16	9	○
d	11	20	11	×
e	6	12	8	○
f	6	9	4	○

4. 考察と今後の課題

現状で，頂点数が多い凸多面体では 3 次元形状の推定がうまくいっていない．これは 2 つの理由が考えられる．1 つ目は，推定する z 座標の値が初期乱数の値と，突然変異による値のみで構成されているためである．初期個体に良好な個体がない場合，次の世代の個体も良好な個体にならない．また突然変異で，新たな値が生まれても良好な解になる確率は低い．そこで今後の課題として，交叉法を単峰性正規分布交叉(UNDX)などに変更することにより，初期乱数で与えた z 座標に大きく依存されることがなくなり，より良好な結果が得られるのではないと考えられる．2 つ目は，3 つの評価値の重み付けがうまく調節されていないためであると考えられる．

本研究の目的は，隠線が消去された線画の 3 次元形状の推定である．今後は見えている部分のみで，3 次元形状を推定させ，見えていない部分は，見えている部分から，多面体の特徴を抽出し，ニューラルネットワークを用いて推定が行えるようにする必要がある．

5. まとめ

凸多面体の 2 次元線画から，線分間角度，エッジの長さ，平面性を評価値とした遺伝的アルゴリズムによって 3 次元形状を推定する手法を提案した．また今回は，隠線が描かれている状態での推定を行った．現状では，頂点数が少ない凸多面体の 3 次元形状の推定はうまくいっていたが頂点数が多くなるにつれて，3 次元形状の推定がうまくいかなかった．これを改善するために，交叉法の見直し，3 つの評価値の重み付けの再調整が考えられる．今後は最終目標である隠線が消去された部分の推定を行えるようにニューラルネットワークの導入などが必要である．

参考文献

[1] 岡野沙織,東海林健二,加藤和永，“GA を用いた線画からの 3 次元形状復元”，信学技報,PRMU2000-185, pp.179-184, 2001

[2] Jianzhuang Liu, Yu Chen,“Decomposition of Complex Line Drawings with Hidden Lines for 3D Planar-Faced Manifold Object Reconstruction”, IEEE T PATTERN ANAL, pp.1-15,2011

[3] Thomas Marill, \Why DoWe See Three-Dimensional Objects?", MITA.I.Memo 1366, pp.1-22, 1992.

[4]] Yan G. Leclerc and Martin A. Fischler, “An Optimization-Based Approach to theInterpretation of Single Line Drawings as 3D Wire Frames”, International Journal of ComputerVision, Vol.9, No.2,pp.113-136, 1992.

[5] 三谷順 「多面体データ」 http://mitani.cs.tsukuba.ac.jp/polyhedron/(アクセス日:2017/06/26)