

## 多品種ケーブルに対応したケーブルモデルによる形状認識

北海道大学大学院 情報科学研究科 博士課程 ○木村 優太、室蘭工業大学 大学院工学研究科 高氏 秀則、

北海道大学大学院 情報科学研究科 金子 俊一

## 要旨

我々は、多品種に対応可能なケーブルモデルによる形状認識手法を提案する。ケーブルモデルは直線近似で表現されるもので、これによりケーブルの位置・姿勢を求めることができる。本原稿では、多品種のケーブルに対して提案手法を使った形状認識実験を行うことで、手法の可能性と有効性を示す。

## 1. はじめに

加工・組立・搬送などの多くの産業分野において産業用ロボットシステムは既に数多く実用化されてきた。そのためには本来人間作業者のために構成されていた作業環境の明示化・モデル化が必要となっている。特に作業対象物について考えるとき、形状変化が把握し易い、例えばCAD/CAMシステム内において扱うことの容易である剛体部品が主な対象となっており、ケーブルやワイヤーハーネス部品或いは付属するコネクタ部品などは対象外であった。本論文の目的は、従来扱いが容易でなかった柔軟なケーブルの画像計測手法について検討し、複雑形状をもつ、例えば所謂コンパウンドケーブルやフラットケーブルなどを産業用ロボットシステムによって扱うための技術を提供することである。

コネクタの扱いに関しては小型距離センサからの3次元情報に基づいてその形状、位置・姿勢の実時間識別法の研究開発などが進んでいる[1]。ケーブルの状態によっては、例えば振れの状態によってはコネクタ挿入といった次の作業の継続が困難な場合があると考えられる。そういった場合に次の作業をどうするか判断するために、ケーブルの状態を3次元センシングする必要がある。本論文では、これらの技術と協調的に利用することを前提として、柔軟ケーブルの形状解析および記述に焦点を当てて検討を進める。

線状の柔軟物体を扱った従来研究は少なく、例えば手術挿入シミュレータの開発[2]、マニピュレーション作業の1つである把持動作に関する研究[3]、ケーブルの変形モデリングに関する研究[4]などが報告されているが、まだ発展途上と考えられる。

これらの研究の多くは単芯のケーブルを対象としており、図1に示すようなコンパウンドケーブルやフラットケーブルなどの複雑な部品は扱えない。

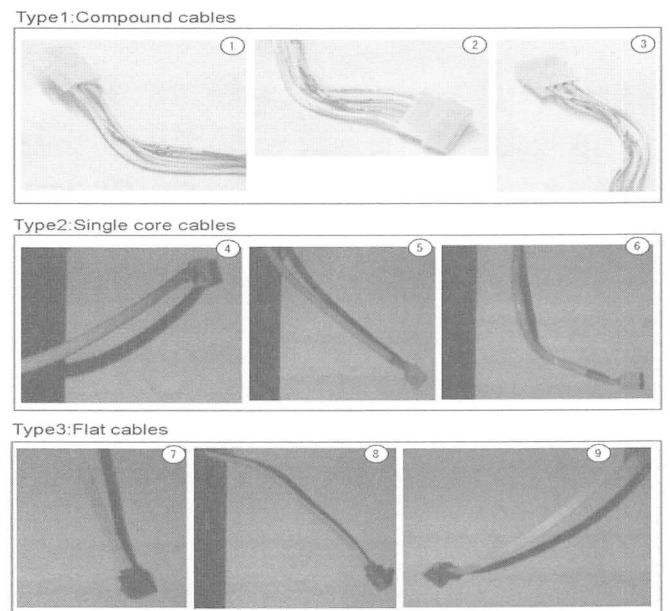


Fig.1 手法フローチャート

そこで本研究においては、図1に示す3種類のケーブル、コンパウンドケーブルと単芯ケーブル、フラットケーブルのように複数種類のケーブルを対象として、全体を均等に幾つかの部分に分け、その部分内においてケーブルの厚さや長さの情報を認識しながら、幅の情報を高すぎない分解能で認識するために中心および外縁部分を選択的にある程度詳細に記述していくアプローチを採る。これにより、多品種に対応可能なケーブルのモデル化を実現した。

## 2. ケーブルモデルの生成

セグメント毎のケーブルの幅、長さ、厚さを大まかに認識し、ケーブルの中心軸であるセグメント中心ベクトルを生成するための大まかな手順を示す。

- 主成分分析を用いてセグメント毎の記述座標系を求める。

- 数密度を算出し、数密度の重心点群を求める。
- 数密度の重心点群から中心点群を算出する。
- 中心点群に対して直線補間し、セグメント中心ベクトルを生成する。

次に順次説明していく。

## 2.1 数密度に基づくリード線部分の推定

セグメント中心ベクトルはセグメントにおけるケーブルの長さ方向に沿う中心ベクトルであり、ここでは数密度（単位面積あたりの点データ数）に基づいてリード線の実体部分とその隙間部分を推定しながら求めていくこととする。セグメントに属する全ての3次元点群を投影して扱う。先の平面を1辺の正方格子に分割する。厚さ方向に点データを投影しながら、各格子のデータ含有数より、数密度を求める。適当なしきい値を用いて重心点群を選ぶ。正方格子の1辺はセグメントの分布状況から与え、しきい値については、レンジセンサの分解能（角度）と撮像距離によって空間分解能が決まるので対象とするリード線の太さとの関係から比較的容易に与えることができる。

## 2.2 外縁ベクトルとセグメント中心ベクトルの生成

前節で導入した正方格子を第1座標軸に平行に融合して積み重ねられた薄い断面層を作る。それぞれの断面層内で第1座標の最大値と最小値の中心点群を抽出する。中心点群は第2座標軸に沿って並ぶこととなるが、最小2乗直線補間を行って、2次元平面内におけるセグメント中心ベクトルを算出する。またセグメント中心ベクトルを求める際に使用する変換された後の対象点群データ、検出された重心点群、その中心点群を求める。

セグメント中心ベクトルは中心点群を最小二乗直線補間することによって与えられる。そして、外縁ベクトルは両外縁の重心点群、を最小二乗直線補間することによって与えられる。

## 3. 実験結果

実験は、コンパウンドケーブルとフラットケーブル、単芯ケーブルにて実験を行った。この実験データは、VIVID910にて計測された3次元データである。このデータの計測精度は、奥行き誤差が $\pm 0.10\text{mm}$ 以内のデータである。

図2に提案手法のケーブルモデルを用いて、図1に示したケーブル1から9の全体形状を抽出した結果を示す。外縁部分は各セグメントの左右クラスタを直線近似（最小2乗近似）して示してある。

ほとんどすべてのセグメント毎のケーブルの中心軸がセグメント中心ベクトルで表され、ケーブル外縁部分は外縁ベクトルによってよく表わされていることが分かる。

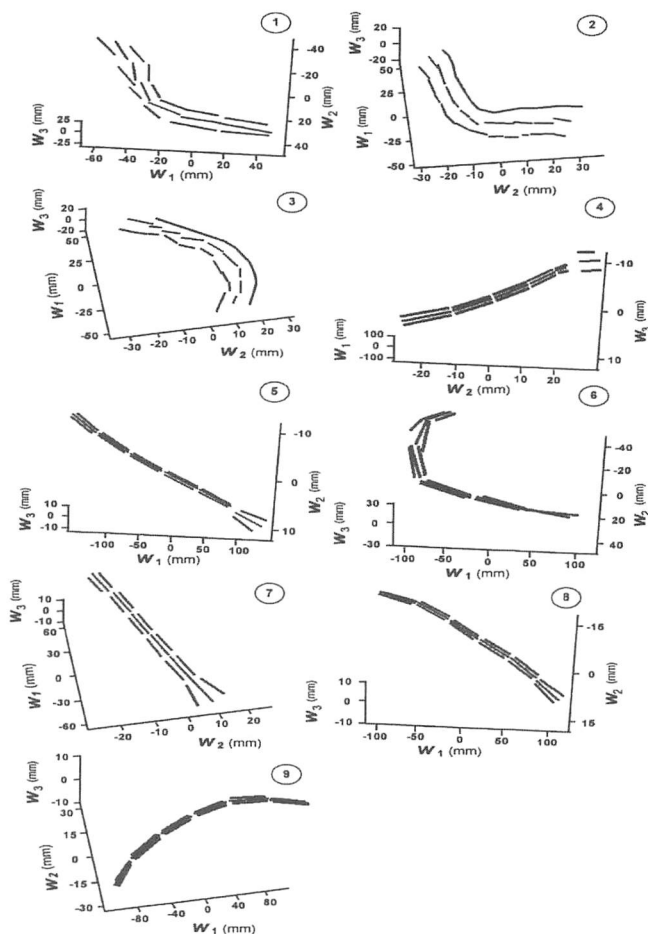


Fig.2 ケーブルの形状記述の実験結果

## 4. むすび

本論文では複数種類のケーブルを対象物として、複雑な形状変動に鈍感な姿勢計測処理を実現するために、主成分分析を導入し、さらにケーブルの幅や厚みといった情報を認識するために、セグメント毎の中心軸と外縁部分からなるケーブルモデルを導入した外形認識手法を提案した。そこでセグメント中心ベクトルと外縁ベクトルによる形状表現により形状認識実験を行い、手法の有効性を確認した。

## 文献

- [1] 鷲見和彦, "柔軟物も取り扱える生産用ロボットシステムの開発", 日本ロボット学会誌, Vol. 27, No. 10, pp. 1082-1085, 2009
- [2] M. Moll and L.E. Kavraki, "Path planning for deformable linear objects", IEEE Transactions on Robotics, Vo. 22, No. 4, pp. 625-636, 2006
- [3] M. Saha and P. Isto, "Motion Planning for Robotic Manipulation of Deformable Linear Objects", Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 2478-2484, 2006
- [4] H. Wakamatsu and S. Hirai, "Static Modeling of Linear Object Deformation Based on Differential Geometry", International Journal of Robotics Research, Vol. 23, No. 3, pp. 293-311, 2004.