

布地センサによる滑りの計測

Van Anh Ho(立命館大学) ○平井慎一(立命館大学)

1. はじめに

本稿では、布地センサにより滑りを計測する手法を報告する。触覚は、ヒトの重要な感覚の一つであり、物体の操作や表面性状の認識、タッチパネルを介するインターフェイス等でヒトは触覚を用いている。センサ表面の法線方向の分布応力を検出する触覚センサは数多く提案されているが、接線方向の応力や滑りを計測するセンサは研究段階である。そこで本研究では、滑りの計測に焦点を当てる。

提案する布地センサは、伸びに反応する感圧導電糸から成る。さらに、感圧導電糸をパイル状に縫製することにより、滑りを検出する布地センサとする。布地センサに法線方向の荷重や接線方向の滑りを印加すると、パイル状の糸の長さが変化し、導電糸の抵抗が変化する。この抵抗の変化を計測することにより、法線方向の荷重や接線方向の滑りを計測する。さらに、離散ウェーブレット変換を用いることにより、法線方向の荷重と接線方向の滑りを分離することができる。

2. 滑りセンサの構成

2.1 感圧導電糸

本研究で用いる感圧導電糸は、絶縁性のポリエステル糸と高い導電性を有するステンレス糸の混紡である。ここでは混紡率が最大である、ステンレス糸 30%の導電糸を用いる。導電糸を伸ばすと径方向に収縮が生じ、ステンレス糸の密度が増加する。結果として、図 1 に示すように、糸の抵抗が減少する。

感圧導電糸そのものが検出できる伸び歪みは 1%程度であり、滑りの検出には不十分である。そこで図 2 に示すカップリング構造を用いる。ポリウレタンから成るコアに、二本の感圧導電糸を巻きつける。二本の感圧導電糸をたがいに逆方向に巻くことにより、カップリング糸のねじれを防ぐ。このカップリング糸が検出できる伸び歪みは約 20%に増加する。

2.2 パイル構造を有する布地センサ

縦糸にカップリング糸、横糸に非導電性の糸を用いて縫製された平編み生地や類似の生地では、布地の表面が平らで滑らかであるため、滑りによって生じる歪みは小さく、結果として滑りを検出することができないと考えられる。滑り方向の歪みを大きくするために、パイル生地を用いる。パイル生地は、タオルで用いられており、表面の法線方向に糸のループが連続的に並ぶ。滑りが生じると、ループが滑り方向に引っ張られ変形する。これにより、糸の抵抗が変化し、滑りを検出することができると期待される [1]。

図 3 に、長さ 5.0 cm、幅 3.5 cm の布地センサを示す。パイルの高さは 1.0 mm である。個々のパイルが接線方向の滑りに反応し、結果として滑りを検出することができる。

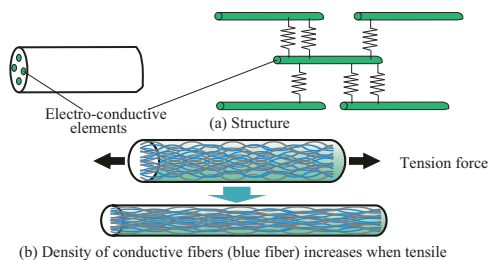


図 1 感圧導電糸

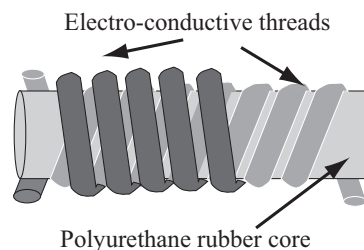


図 2 カップリング構造



図 3 パイル構造を有する布地センサ

3. 離散ウェーブレット変換による滑りの検出

3.1 押し動作と滑りの分離

押し動作と滑りの双方において感圧導電糸に伸び歪みが生じるため、提案する布地センサは押し動作と滑りの双方において類似の信号を出力する。したがって、押し動作による信号と滑りによる信号を分離する必要がある。滑りにおいては指先と個々のパイルとの接触と離脱が断続的に生じるため、信号は高周波成分を含む。一方、押し動作においては、接触が比較的長い時間保たれ、結果として信号は高周波成分をそれほど含まない。したがって、信号の高周波成分を検出することにより、押し動作と滑りを分離することができると考えられる。

周波数領域で働くフーリエ変換は、高周波成分の大きさを求めることができるが、滑りが生じた時刻を特定することができない。滑りが生じた時刻を求めるために、周波数領域と時間領域で働くウェーブレット変換を用いる。本稿では、効率的に正確な変換が可能である、離散ウェーブレット変換を用いた。離散ウェー

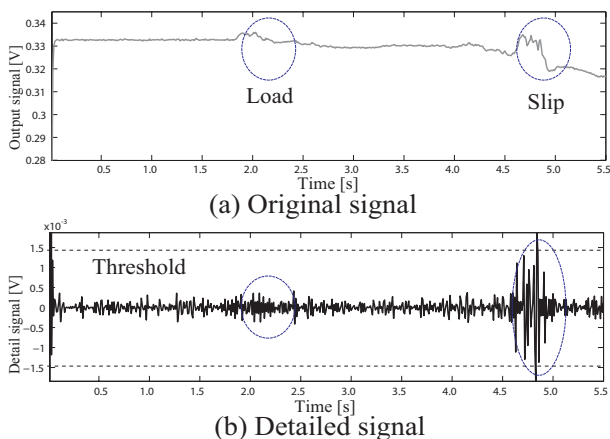


図4 センサの出力信号と詳細係数

フレット変換では、信号から近似係数と詳細係数を求める。近似係数は時間解像度が高く周波数の低い成分を、詳細係数は時間解像度が高く周波数の低い成分を表す。したがって、詳細係数を調べることで、滑りがいつ生じたかを求めることができる。本研究では、Harr ウェーブレット [2] を一段階用いて、近似係数と詳細係数を計算する。

図4に、押し動作と滑りが生じたときのセンサ信号と、センサ信号から計算した詳細係数を示す。押し動作が生じたとき、詳細係数の値は $0.8 \times 10^{-3} \text{ V}$ 以下である。一方、滑りが生じたとき、詳細係数の値は $158 \times 10^{-3} \text{ V}$ に達する。すなわち、滑りが生じたときに詳細係数の値が大きくなり、それ以外のときには詳細係数の値が小さい。したがって、事前の試行を基にして閾値を適切に設定することにより、滑りを検出することが可能になる。

3.2 表面テクスチャーの識別

提案する布地センサは、非可展面に貼り付けることができる。図5に、半球状のロボット指に布地センサを取り付けた例を示す。このロボット指を用いて、表面テクスチャーを識別する。図6に示す8種類の表面(タイル、サンドペーパーの裏、写真用紙、穴開きのボード、デニム生地、アルミニウム板、銅板、パターンアクリルボード)を対象とする。本研究では、離散ウェーブレット変換の詳細係数から、1) 平均、2) 分散、3) 標準偏差、4) エントロピー、5) エネルギーを計算し、これらの量を要素とする特徴ベクトルを構成した。さらに、3層の人工ニューラルネットワークを用いて、特徴ベクトルからテクスチャーを識別する。パイル高さ1mmの布地センサを用い、指先を6mm/sの速度で滑らせてセンサ信号を得た。得られた信号からテクスチャーの識別を試みた結果、86%の成功率を得た。

3.3 複数電極を有するセンサによる接触位置の推定

図3に示すセンサでは、布地の両端に電極を配置している。したがって、センサ上で滑りが生じたか否かを検出することができるが、どこで滑りが生じたかを検出することはできない。そこで、布地に複数の電極を構成し、滑りが生じている場所を推定することを試みた。導電性ペーストを布地に塗布し、直線状に並ぶ3個の楕円電極を構成した。図7に指を滑らせたときの

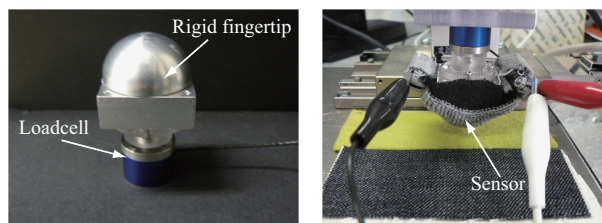


図5 半球指に取り付けられた布地センサ

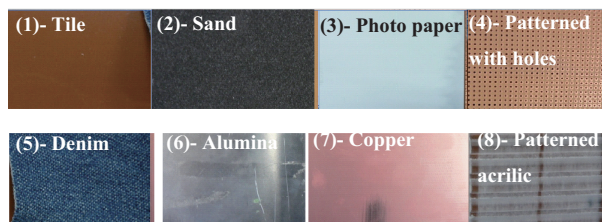


図6 様々なテクスチャーを有する表面

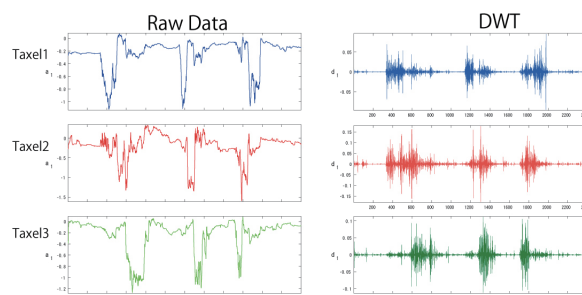


図7 複数電極を有するセンサの出力信号と詳細係数

センサ出力と詳細係数の値を示す。ここでは、Taxel1からTaxel3に向かって指を滑らせ、指を布地センサから離し、次にTaxel1とTaxel3の間で指先を往復させている。指の運動により、反応するTaxelが移動することがわかる。したがって、Taxelの信号を解析することにより、滑りが生じた場所を推定できると考える。

4. おわりに

本稿では、布地センサを用いた滑りの検出を報告した。感圧導電糸にパイル編みを用いることにより、滑りに対する抵抗の変化を拡大するとともに、離散ウェーブレット変換を用いて押し動作と滑りを分離することに成功した。提案する布地センサは、布地それ自体がセンシング機能を有しており、衣服やシーツに組み込むことができる。また、この布地センサは、曲面に沿うことや関節部を覆うことができ、幅広い応用が期待できる。

本研究は一部、科学研究費補助金(No.2324604)の支援を受けた。また、布地センサは岡本株式会社が製作した。ここに感謝の意を示す。

参考文献

- [1] V. A. Ho and S. Hirai, *Understanding Slip Perception of Soft Fingertips by Modeling and Simulating Stick-Slip Phenomenon*, Robotics: Science and Systems VII, Los Angeles, CA, U.S.A., June 2011.
- [2] M. Weeks, *Digital Signal Processing Using Matlab and Wavelets*, Infinity Science Press LLC, 2007.