

弾性触覚センサのひずみ分布パターンを用いた物体の柔らかさ推定

Estimation of Elasticity of Elastic Object using Deformation Pattern of Elastic Tactile Sensor

○学 新見 孝之 (慶大) 正 前野 隆司 (慶大)

Takayuki SHINMI, Keio University, shinmi@z3.keio.jp
Takashi MAENO, Keio University

This paper discusses the method to estimate elasticity of an object. Human being can recognize the elasticity of an object when they touch an object. Now robots can't detect the elasticity of an object because they don't have the sensor or system to detect the elasticity well. Proposing method uses only deformation patterns of the elastic sensor. When the sensor touches an object, strain distribution patterns arise in the sensor. The patterns are different by the elasticity of an object. So the characteristic of the patterns may detect the elasticity of an object. The variance and kurtosis are extracted as the characteristic of the patterns. The elasticity is detected with variance and kurtosis of strain distribution patterns in the sensor.

Key Words: Young's modulus, Strain Distribution, Finite Element Method

1. 背景と目的

近年、ロボットが活躍する環境は、工場などの限定された環境からヒトが生活する環境へと拡大している。このため、ロボットにはヒトと同様の作業を行なえる能力が求められる。ヒトは物体に触れた際、物体の柔らかさを認識することができる。ここで、物体の柔らかさとは物体に外力を加えた際の物体の変形しにくさを表わす指標である。工学では、物体の変形しにくさを応力とひずみの比例定数の総称である弾性率により表わす。弾性率は、ヤング率、剛性率、体積弾性率およびポアソン比のうち、2つの物性値を用いることにより記述できる。著者らは、物体のヤング率を推定する手法として、物体にセンサを押し込んだ際の押し込み力とセンサの変形パターンを用いることにより物体のヤング率を推定する手法を提案した⁽¹⁾。しかし、ヒトが生活する環境において従来の手法を用いて物体のヤング率を推定する際、センサの押し込み力を常に精度よく測定することは困難である。このため、本研究では、センサの押し込み力を測定することなく、センサの変形パターンのみを用いることにより、物体のヤング率を推定する手法を提案することを目的とする。

2. 提案するヤング率推定法

ヒトの指は、曲率を有した弾性体である。このため、表面形状が均一な物体に指を押し込んだ際、指が変形する際には、部位によって異なるひずみが生じる。指の内部には触覚受容器が分布的に配置されている。このため、物体に指を接触させた際には、分布的に配置された触覚受容器が指の内部に生

じるひずみ分布を検出すると考えられる。また、ヒトは、指に加わる力や指と物体の相対変位を検出することなく、物体の柔軟さを認識することができる。以上より、ヒトは指の内部に生じるひずみ分布パターンにより物体の柔らかさを認識していると考えられる。したがって、本研究では、ヒトの指の構造を模倣した弾性触覚センサの内部に生じるひずみ分布パターンにより、物体の柔らかさを推定する。弾性触覚センサの概略図を図1に示す。弾性体の変位を拘束するため、内部に剛体を配置する。また、弾性触覚センサを物体に押し込んだ際、弾性体と剛体の境界面に生じるy軸方向のひずみを測定することを想定する。

本研究では、物体のヤング率を推定する際、センサの内部に生じるひずみ分布パターンを用いることの有効性を確認するための簡単なパターンとして、左右対称なひずみ分布パターンを用いる。また、測定対象となる物体の表面形状およびヤング率は一律とする。弾性触覚センサを物体に押し込んだ際、センサの内部に生じると考えられるひずみ分布パターンを図2に示す。ヤング率が小さい物体を押し込んだ際、センサの内部に生じるひずみは図2(a)のように均一に近い分布になると考えられる。一方、ヤング率大きい物体を押し込んだ際、センサの内部に生じるひずみは中心が大きくなるため、図2(b)のように中心が尖った分布になると考えられる。以上のように、物体のヤング率によりセンサの内部に生じるひずみ分布パターンが異なると考えられる。したがって、弾性触覚センサの内部に生じるひずみ分布パターンと物体のヤング率

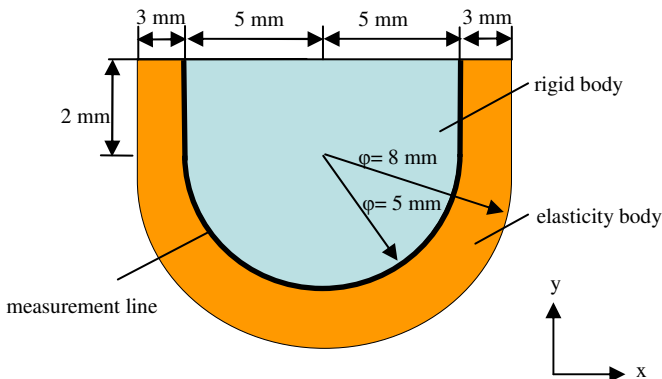


Fig. 1 Section of elastic tactile sensor

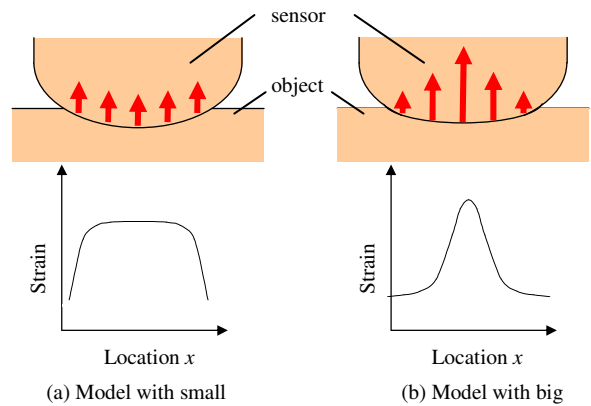


Fig. 2 Forecast strain distribution pattern

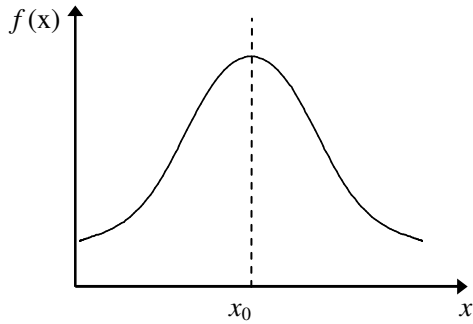


Fig. 3 A distribution pattern

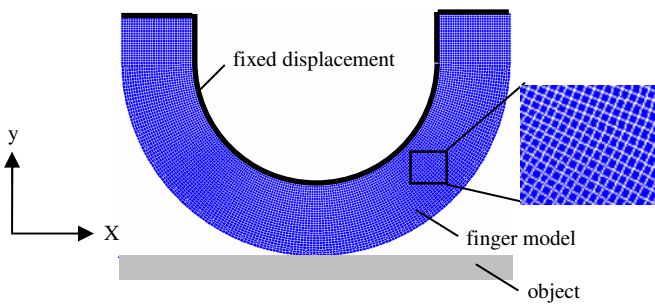


Fig. 4 Finite element model of the sensor and object

の関係解析することにより、物体のヤング率を推定できると考えられる。ここで、本研究では、ひずみ分布パターンの特徴として、分布情報を数値化できるモーメントを用いることとする。図3の x_0 まわりの k 次モーメントは、

$$M_k = \int f(x_i)(x_i - x_0)^k dx \quad (1)$$

により表わされる。1次モーメントは分布の中心、2次モーメントは分布のすその広がり具合、3次モーメントは分布のひずみ具合、4次モーメントは分布の尖り具合を表わす。ここで、本研究で扱うひずみ分布パターンは左右対称であるため、分布の中央を x_0 とすると、1次モーメントおよび3次モーメントは0になる。したがって、本研究では、2次モーメントである分散および4次モーメントである尖度を用いる。

3. ひずみ分布パターンとヤング率の関係解析

まず、センサの内部に生じるひずみ分布パターンを確認するため、有限要素法によるセンサ断面と物体の接触の解析を行なうことにより、センサの内部に生じるひずみを算出した。構築した有限要素モデルを図4に示す。センサのヤング率は0.9 MPa、ポアソン比は0.45、節点数は6687とした。また、測定対象となる物体のポアソン比は0.3とした。

ヤング率が0.1 MPa、0.3 MPa、0.5 MPa、1.0 MPaの物体にセンサを押し込んだ際、センサの内部に生じる y 軸負方向のひずみ分布パターンを図5に示す。図5より、物体のヤング率の違いによりひずみ分布パターンが異なることがわかる。このため、ひずみ分布パターンの特徴から物体のヤング率を推定できるといえる。

有限要素解析において、センサの押し込み量を変化させた際のひずみを算出した。また、得られたひずみ分布パターンより分散および尖度を算出した。センサの内部に生じるひずみ分布パターンの分散および尖度の関係を図6に示す。ここで、本研究では、センサの押し込み量を変化させた際の分散および尖度の交点が描く軌跡を分散-尖度曲線と呼ぶ。図6に

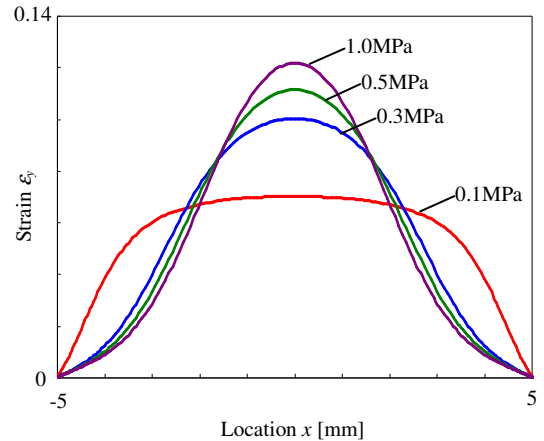


Fig. 5 Strain distribution pattern

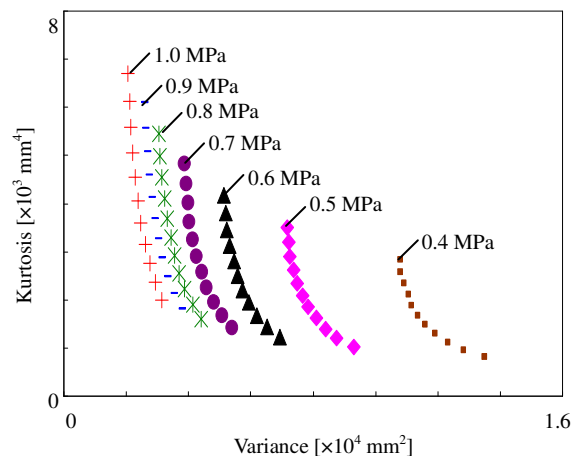


Fig. 6 Variance-kurtosis curve

において、物体のヤング率が一定の場合のプロットは、センサの押し込み量を増大させることにより図の上から下へと尖度が減少するとともに、分散がわずかに増大することを表わす。また、物体のヤング率が異なる場合のプロットは、図6上で交差しない。以上より、分散-尖度曲線を用いることにより、物体のヤング率を推定できることがわかる。

ヤング率の推定アルゴリズムの構築や、製作したセンサによるヤング率の測定実験および推定精度の検証などは今後の課題である。

4. 結論

本研究では、弾性触覚センサを物体に押し込んだ際、センサの内部に生じるひずみ分布パターンを用いることにより、センサの変位および押し込み力を測定することなく、物体のヤング率を推定する手法を提案した。すなわち、ひずみ分布パターンの特徴として、分散および尖度を用いることにより、物体のヤング率を推定できることを明らかにした。

5. 参考文献

- (1) 向坊由佳, 前野隆司: ヒト指の構造と知覚機構を模倣した触覚センサ, 第23回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, 2005, 2C11