

接触力の変化を利用した分布型圧力センサによる 表面粗さの能動的計測

Active Sensing of Surface Roughness by Using Array-type Pressure Sensor

Based on Dynamic Changes of Contact Force

大阪大学 尾崎 謙介 細田 耕 浅田 稔
Osaka Univ. K.Ozaki K.Hosoda M.Asada

Abstract : This paper presents an active sensing method of surface roughness by using an array-type pressure sensor. In order to expand not only spatial resolution but also measurable one of pressure, we change the contact force by repeating touch, leave, and move action.

1 はじめに

人間の触覚に相当するようなセンサは、ロボットが環境や対象物の状態を知る上で、有用な情報を与えるものと思われる。しかしながら、実際の触覚センサには検出素子の大きさや、配線の方法など制約があり、局所的な情報しか把握できないために、センサ自体を能動的に動かして、局所的な情報をつなぎ合わせていくという動作が必要になる。下条、石川¹⁾は触運動によって検出可能な空間周波数に変化する、空間フィルタ型触覚センサによって対象物の表面粗さを計測している。能動性を取り入れることによって幅広い空間周波数に対応できるという特徴があるが、センサを対象物に接触した状態のまま移動させなくてはならないのでセンサと対象物の間にスリップスティック振動が起こり、十分に計測できない場合が考えられる。

そこで本稿では、能動的なセンシングを行なう際の触運動を、接触 離れる 移動 接触の繰り返しによるものとし、接触力の変化を利用することにより、センサの空間分解能だけでなく出力の分解能も向上させる方法を提案する。そしてシミュレーションおよび実機での実験について述べる。

2 触覚センサの構成

製作したセンサでは圧力検出用の感圧材料として、感圧導電性ゴムを用い、圧力 抵抗変換を利用する。感圧導電性ゴムは一般に

$$r = k \cdot p^n \quad (1)$$

の特性を持つことが知られている。ここで、 r はゴムの抵抗値、 p はゴムに加えられる圧力で、 k, n はゴムの材質、電極の形状によって決まる定数である。 V_{in} を入力電圧、 V_{out} を出力電圧、 r をゴムの抵抗、 R_b を外付の固定抵抗値とすると、これらを用いて出力電圧は

$$V_{out} = \frac{R_b}{r + R_b} V_{in} \quad (2)$$

と表せる。

センサは 8×8 点を検出するアレー形状でセンサシステムはホストコンピュータに 装備されている P I/O からマルチプレクサに触覚センサのアレー選択のための信号を入力する。センサからの出力は、A/D ボードを介してホストコンピュータに取り込まれる。 8×8 点全体のサンプリング時間は、約1.3 msec である。

3 触覚センサの特性

製作したセンサの特性を調べるために、力覚センサを用いて触覚センサの圧力 - 出力電圧の関係の測定を行なった。力

覚センサの定格荷重は 力:10kgf, 測定精度は定格値の1%以下である。 $R_b = 1k\Omega$ として測定した結果を Fig.1に示す。

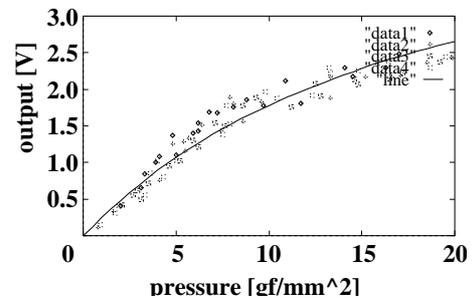


Fig.1 Characteristics of sensor($R_b = 1k\Omega$)

最小2乗推定により式(2)において、 $k = 19.3, n = -1.03$ と近似することができ、以後これを圧力と出力電圧の関係の理論式として用いる。出力の偏差は $\sigma = 0.3V$ であった。

4 能動的センシング法

Fig.1からわかるように、センサにかかる圧力が大きすぎると圧力の変化に対する出力電圧の変化の割合が小さくなり、ばらつきも大きくなるため、出力電圧から圧力を計算する時、信頼性が低くなる。従って、対象物とセンサを接触させる接触力を調整してやることにより圧力を変化させ、出力のダイナミックレンジが広い領域で測定を行なえば良い。例えば Fig.2 の A 点、B 点の出力 V_A, V_B は本来 $V_A > V_B$ であるが、 $|V_A - V_B| < \sigma$ の時は、 $V_A < V_B$ と出力される場合がある。そこで、接触力を減少させると各センサ要素にかかる圧力が減少するので A, B がそれぞれ A', B' にシフ

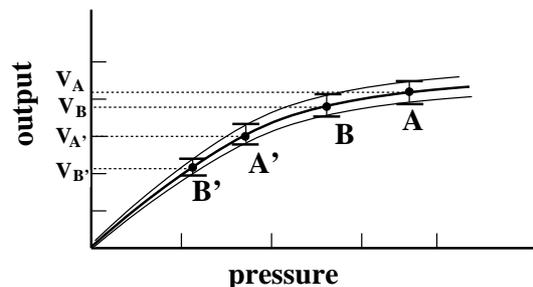


Fig.2 Change of contact force

トする． $|V_{A'} - V_{B'}| > \sigma$ となり， $V_{A'} > V_{B'}$ の関係が変化しない所に来るまで接触力を減少させれば良い．

以上から，次の方法で表面粗さの測定を行なう．(Fig.3 参照)

1. 対象物にセンサを押しつけ，徐々に力を加えていく過程において，各接触力の時の，センサ要素1列内での出力の大きさの大小関係を決定し，順位をつける．ばらつきの誤差の範囲内にある時は大小関係を決定できないので一旦同じ大きさとし，他の接触力でばらつきの範囲外になった時に改めて大小関係を決定する．
2. 各接触力での順位をセンサ要素ごとに足し合わせ，大小関係からもう一度順位づけを行なう．この時の順位を $f(m, n)$ とする．ただし， m はセンサの最初の位置からの移動ステップ数， n はセンサ要素番号．
3. 対象物から離れ，移動して1,2を繰り返す．
4. 一番最初出力パターンとの類似度を調べるために， $sum(m) = \sum_{n=0}^7 |f(m, n) - f(0, n)|$ を計算する． $sum(m)$ が小さいものほど最初のパターンとの類似度が高い．
5. 各移動ステップでの $sum(m)$ の値から，FFTなど出力の周期より表面粗さのピッチを推定する．

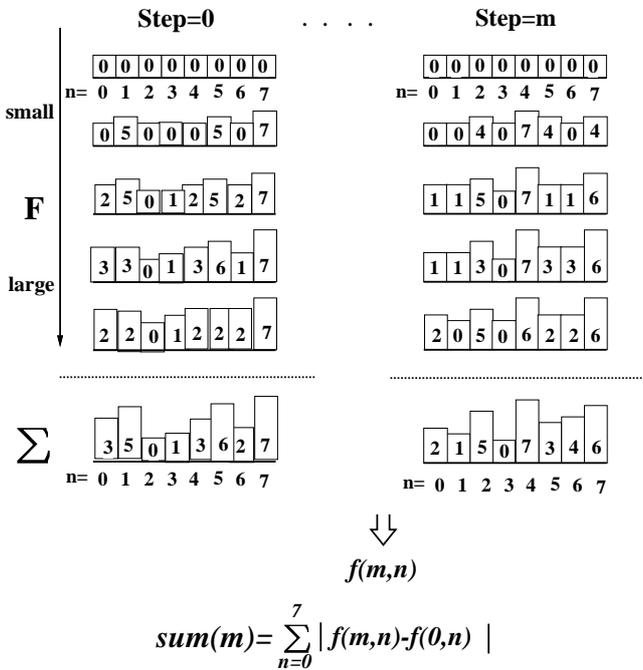


Fig.3 Sensing algorithm

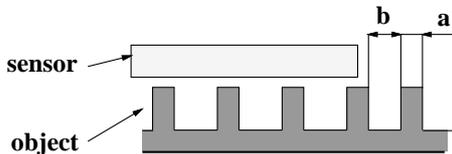


Fig.4 Shape of object

5 実験

5.1 シミュレーション

前述の方法を用いたコンピュータシミュレーションを行なった．対象物はFig.4のような矩形のものとした．表面粗さのピッチ p_o は $p_o = a + b$ で与えられ， a, b をそれぞれ変化させた．また，センサ要素のピッチは4.7mm，1ステップの移動距離は1mmである．センサ出力は3節で推定した式に， $\pm 0.3V$ のばらつきを乱数で与えた．結果をFig.5に示す． $a=1mm, b=1mm$ の時は2mm， $a=1mm, b=mm$ の時は3mmの周期が得られ，正確に計測されることが分かる．

5.2 実機による実験

川崎重工製マニピュレータ js-5 の手先に対象物を取り付け，センサを土台に固定し，マニピュレータによって対象物をセンサに対して移動させることにより能動的に表面粗さを測定する実験を行なった．対象物の形状はFig. 4と同様で表面のピッチは $a=1mm, b=2mm$ とした．センサのピッチ，移動距離はシミュレーションと同じである．測定結果をFig.6に示す．

結果を見ると1回目の周期は出ているが2回目は出していない．これには様々な影響が考えられるが，最大の原因は，マニピュレータで対象物をセンサに押しつける時に，均等に荷重がかけられていないことであると思われる．またその他にも対象物の形状の精度やマニピュレータの移動精度の影響も考えられる．

6 まとめ

実際に触覚センサを製作し，そのセンサの分解能を向上させるための能動的なセンシングの方法を提案し，シミュレーションと実機での実験を行なった．シミュレーションでは目的の表面粗さを計測することができたが，実験では満足な結果が得られなかった．実験方法などにおいてまだ検討しなければならない．また，今後1次元だけでなく2次元の表面粗さについても測定できるよう検討していきたい．

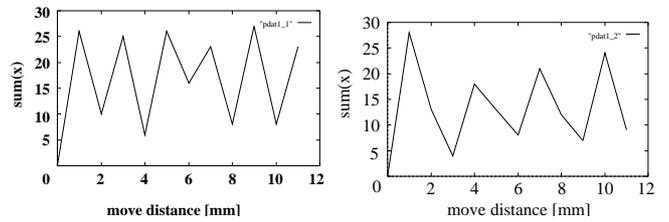


Fig.5 Result of simulation

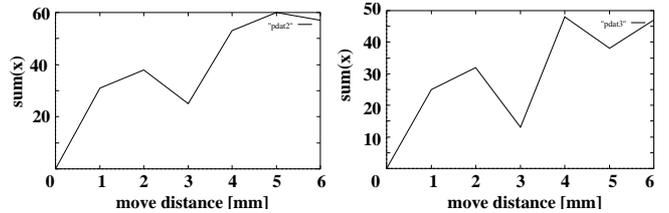


Fig.6 Result of experiment

謝辞

本研究を遂行するにあたり，感圧導電性ゴム，センサ回路に関する資料を提供して頂きました東京大学の石川助教に深く感謝致します．

参考文献

- 1) 下条, 石川. 空間フィルタ形触覚センサを用いた能動的センシング. 電子情報通信学会論文誌, Vol. j74-c-II, No. 5, pp. 309-316, 1991.
- 2) 日本ロボット学会編. ロボット工学ハンドブック. コロナ社, 1990.
- 3) 石川正俊. 触覚センサの作り方考え方. 省力と自動化, No. 2, pp. 25-35, 1988.