

柔軟シートを用いたハプティックデバイスにおける 指先位置と押し込み量の計測

Measurement of Finger Position and Indentation for Haptic Device Using Flexible Sheet

○松野匡浩, 李秀雄, 井上健司

○Masahiro Matsuno, Suwoong Lee, Kenji Inoue

山形大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

連絡先: 〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16 山形大学大学院理工学研究科応用システム工学専攻
井上健司, Tel & Fax: 0238-26-3335, E-mail: inoue@yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

近年, 医師不足や医療の過疎化はますます深刻になりつつあり, これを補う医療システムの構築が急務とされている. こうした中, 医師と患者が距離を隔てたところでインターネットなどの通信技術を用いて診療を行う遠隔医療システムの開発が期待されている. 診察行為の中でも, 患者の体を触る・押すなどし, 硬さ, 弾力, 圧痛の有無, しこりの有無などを調べる触診は, 重要な位置を占めている. 遠隔医療システムにおいて触診を遠隔化するためには, 患者側にロボットを置き, 医師がこれを遠隔操作して患者を触ったり押したりする. 同時にロボットは患者の感触を測定し, 医師の手にフィードバックする必要がある.

物体に触ったときの感触を人工的に作り出し, 指や手に感じさせる装置をハプティックデバイスという. 我々は, 人体・臓器のような柔らかい物体の触覚提示を目的として, ゴムなどの柔軟シートを用いたハプティックデバイスを開発している[1-2]. このデバイスでは, シートの張り具合を制御して, シートの柔らかさを変化させる. シートを指で押すことで, 仮想物体の柔らかさを感じることができる. このとき, 指や手には何も装着する必要はなく, 仮想物体を直接押したり撫でたりすることが可能である.

本研究の目標は, このハプティックデバイスを用いた遠隔触診システムを開発することである. 本論文では, ロボットを遠隔操作する入力インタフェースとしての機能を実現するため, シート上の指先位置の計測, 指先のシートへの接触検出, シートの押し込み量の計測を行うシステムをハプティックデバイスに実装する. さらに, その有効性について実験により検証する.

2. 柔軟シートを用いたハプティックデバイス

我々が開発している柔軟シートを用いたハプティックデバイスを Fig.1 に示す. シリコンゴムシート的一端を固定し, 他端を4個のサーボモータに並列に固定する. モータでシートを一斉に引っ張って張力をかけ, シートの柔らかさを変化させる. すなわち, シートをピンと張れば硬く, 緩めれば柔らかくなる. よって, シートに直接触ると, 仮想物体の柔らかさをシートの弾力として感じることができる. シートの厚さは0.5[mm], サイズは260[mm]×280[mm]である. サーボモータには, ROBOTIS社のDynamixel RX-28を用いている.

3. 遠隔触診システムの構成

遠隔触診システムでは, 患者側にロボットを, 医師側にハプティックデバイスを置く. 遠隔触診の手順は, 以下のようになる.

- ① 医師は, シートに指で軽く触れた状態で, シート上で2次元的に指を動かす.
- ② ロボットは, 患者の表面から距離を保ちつつ, 医師の指の動きに従って患者表面に沿って移動する.
- ③ ロボットが触診箇所の上に来たら, 一旦停止する.
- ④ 医師は, 手をシート中央に移動し, シート中央を押し込む.
- ⑤ 医師の押し込み動作に合わせてロボットが患者を押し, 患者の柔らかさを測定する.
- ⑥ 測定された患者の柔らかさをハプティックデバイスで再現し, シートを押し込んでいる医師の手に提示する.

その結果, 医師は実際の患者に触っているかのごとく遠隔触診することができる. なお, ①②の

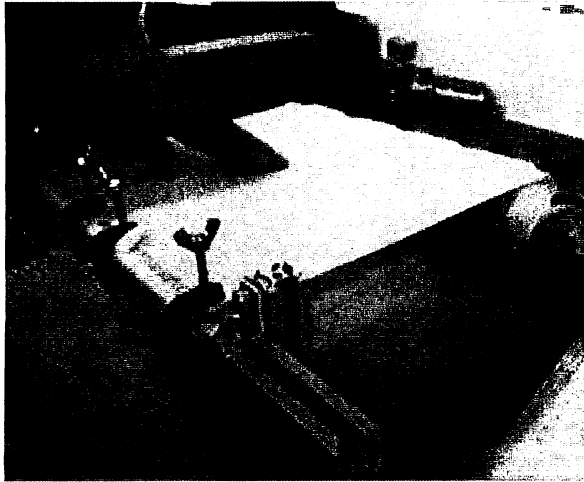


Fig.1 Haptic device using flexible sheet

操作でロボットを長距離移動させようとする、指がシートの縁まで達してしまう。その場合は、指をシートから一旦離してシートの別の場所に移動し、再び①の操作を行えばよい。ロボットは、指がシートに触っている間だけ②の動作を行う。これはちょうど、ノート PC のタッチパッドと同じ操作になる。

上記の手順の中で、ロボットを遠隔操作する入力インタフェースとしてのハプティックデバイスの操作は、①と④になる。これを実現するためには、

- A. シート上の指先位置の計測
- B. 指先のシートへの接触検出
- C. シート中央の押し込み量の計測

が必要になる。

4. シート上の指先位置の計測

4.1 計測方法

指先を拘束せずに、非接触でシート上の指先位置を計測するため、カメラを用いる。Fig.2 のように、黄色いシートの真上にカメラを設置し、指先には青色シールを付ける。カメラ画像から青い部分を抽出し、その重心を指先位置とする。黄色いシートと青色シールを用いたのは、RGB の中で排他的な組み合わせだからである。カメラは画素数 130 万の BUFFALO 製の USB カメラ、画像処理には、汎用ライブラリ OpenCV を用いた。

4.2 計測精度の評価

カメラで取得した画像と青色抽出の結果を Fig.3 に示す。図のように、指先が鮮明に抽出できることがわかる。

指先はシート上を動き回るため、場所によらず精度よく位置が計測できなければならない。指先の動く範囲としては、シート中央の 100[mm]×

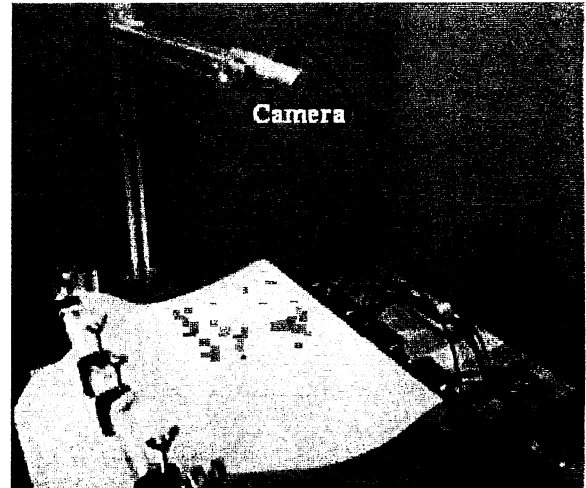


Fig.2 Camera for measuring finger position on sheet

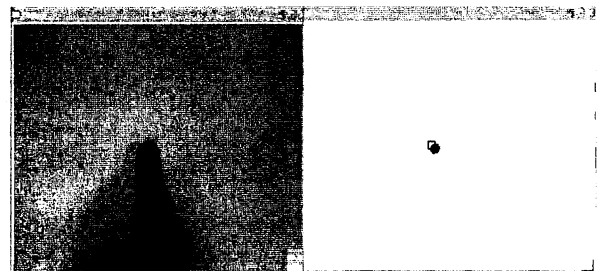


Fig.3 Finger tracking with camera by detecting blue mark

100[mm]程度の領域を考えている。そこで、この領域の四隅に青色シールを張り付け、各点の位置を 100 回ずつ計測する実験を行った。その結果、最大で 1.07[pixel]程度の誤差で位置が計測できた。

指先に青色シールを張り付けてシート上で動かし、指先位置を連続的に計測する実験を行った。計測の周期は 0.03[s]である。Fig.4 は、指先の軌跡を描いたものである。図から、指先の動きが滑らかに計測できていることがわかる。

5. 指先のシートへの接触検出

5.1 検出方法

指先のシートへの接触検出とシート中央の押し込み量計測を行うため、Fig.5 のようにシート中央の背面に近接センサを配置した。使用した近接センサは、浅草ギ研製の AS-PROX である。このセンサは赤外線反射式で、距離に応じて出力電圧が変化する。計測距離は 0~60[mm]程度、2~3[mm]で出力電圧が最大となり、距離が増えるに従って電圧が低下する。出力電圧の範囲は 0~5[V]で、これを A/D 変換 (10 ビット) する。以後、センサ出力は A/D 変換後の値で考える。センサは、押し込み量 0[mm]のときのシートの下約

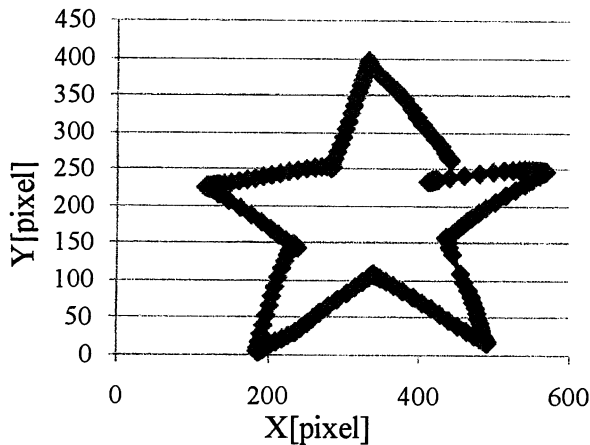


Fig.4 Finger trajectory measured with camera

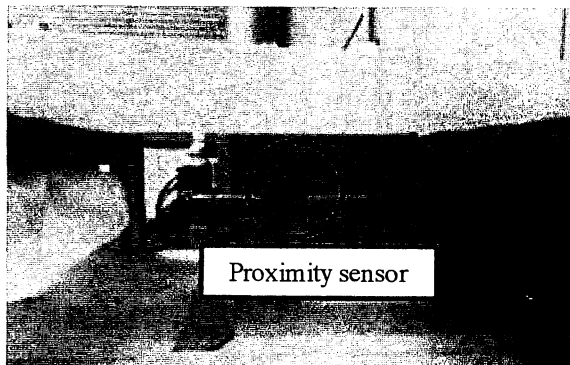


Fig.5 Proximity sensor placed under sheet for detecting finger touch and measuring indentation

25[mm]のところに置いた。

接触検出は、押し込み量 0[mm]の状態ではセンサ出力を測定し、その出力値にマージンを付加した値を閾値とする。シートが押されるとセンサ・シート間の距離が短くなり、センサ出力が上昇する。出力が閾値を超えたら接触と判定する。

5.2 検出精度の評価

はじめに、シートを一定量押し込んだ状態でセンサ出力を 100 回計測した結果、最大誤差は 2[digit]であった。このことから、センサが安定して計測できることがわかる。

次に、シート上の接触位置によるセンサ出力の違いを調べた。Fig.6 のように、シート中央を一頂点とする 50[mm]×50[mm]の正方形の四隅と四隅の真ん中に重さ 105[g]の重りを置き、各点でのセンサ出力を計測した。結果を Fig.7 に示す。図から、センサ中央 A 点とその横 B 点で、センサ出力に約 30[digit]の差があることがわかる。

6. シート中央の押し込み量の計測

6.1 計測方法

前章の近接センサで、シート中央の押し込み量を計測する。

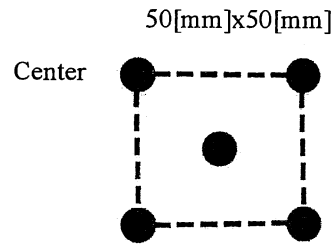


Fig.6 Experiment of touch detection: touch points

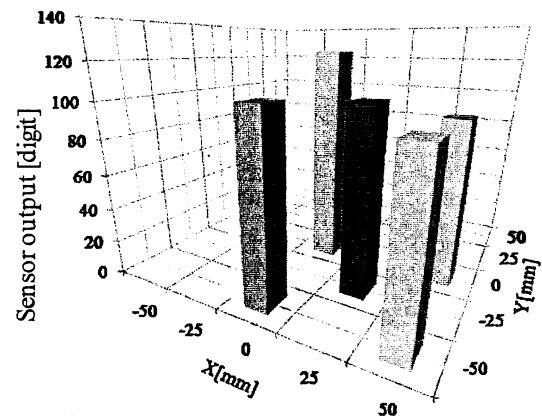


Fig.7 Experiment of touch detection: sensor outputs on touch points

6.2 押し込み量とセンサ出力の関係

直径 13[mm]の棒材を、直動ステージを使ってシート中央に押しつけ、シート中央の押し込み量（直動ステージの移動量）とセンサ出力の関係を計測した。押し込み量の測定間隔は 2[mm]である。結果を Fig.8 に示す。図から、押し込み量 0～20[mm]を計測できることがわかる。

7. おわりに

柔軟シートを用いたハプティックデバイスによりロボットを遠隔操作するため、シート上の指先位置の計測、指先のシートへの接触検出、シートの押し込み量の計測を行うシステムを実装し、その精度を検証した。

今後は、実際にロボットの遠隔操作を行い、遠隔触診システムに発展させる。

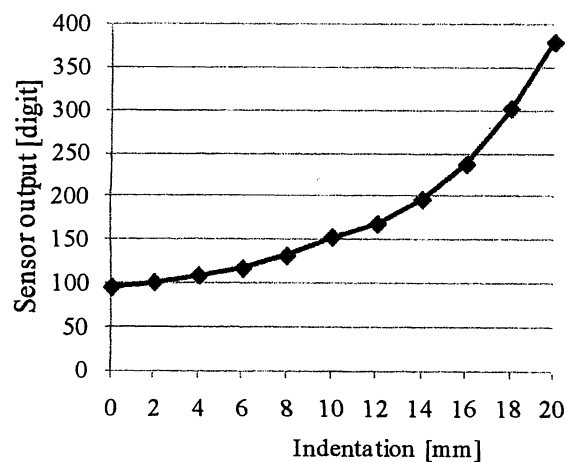


Fig.8 Experimental results on relationship between sheet indentation and sensor output

参考文献

- [1] K. Inoue, R. Uesugi, T. Arai, Y. Mae: "Development of Haptic Device Using Flexible Sheet", Journal of Robotics and Mechatronics, 15-2, pp.121-127, 2003.
- [2] K. Inoue, R. Uesugi, R. Sasama, T. Arai, Y. Mae: "Development of Integrated Visual Haptic Display Using Translucent Flexible Sheet", Journal of Robotics and Mechatronics, 17-3, pp.302-309, 2005.