

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 25 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560539

研究課題名(和文)人間支援ロボットのための触覚に基づく環境認識

研究課題名(英文)Environment Recognition for Human Support Robot Based on Haptic Sensation

研究代表者

辻 俊明(TSUJI, Toshiaki)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：60434031

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題ではロボットをはじめとする人間支援機器の触覚信号を処理する技術を提案した。力覚センサを支持部にのみ設置した簡易な機構で人間および環境の接触情報を抽出する触覚信号処理技術を開発した。その応用例として触覚を持たせた機の試作機を開発し、多種多様な条件において触覚信号処理技術が適用できることを確認した。本研究課題で開発された技術によって、限られた数のセンサデバイスで機器が多種多様な情報を操作者から取得できることが示された。

研究成果の概要(英文)：This project proposed a signal processing technique for human-support systems based on force sensors. The technique enables the extraction of the contact information between human and machines. As an example of application, a desk with tactile sensation has been developed and used as a prototype for examining the performance of signal processing. Through the examination, it has been shown that the technique extracts many kinds of information from a limited number of force sensing device.

研究分野：制御工学

キーワード：人間支援ロボット 触覚 力覚 力覚信号処理

1. 研究開始当初の背景

機械が身体的に人間を支援する人間機械協調系においては、外力情報を適切に判断し、人間・機械・環境・機械間の力学的インタラクションを処理するシステムが必要である。しかし触覚センサ・力センサに重畳して加わる様々な信号を正確に認識できないことが汎用的な人間機械協調系開発の障壁となっていた。

触覚センサの開発は活発だが、その信号処理や認識技術は少ない状況であった。画像・音声処理やBMIの分野では既に様々な信号処理技術が開発され、重畳する信号の分離や高精度の認識が実現されていた。一方、触覚分野での試みはまだ少なく、上記技術の導入により機械の環境認識能力が飛躍的に改善する余地が残っていた。

2. 研究の目的

以上の背景に鑑みて本研究課題ではロボットや家具・家電の触覚信号を適切に処理する技術を提案した。限られた数のセンサデバイスで機器が多種多様な情報を操作者から取得することを目的とした。その技術の確立を目指し、力覚センサを支持部のみ設置した簡易な機構で人間および環境の接触情報を限界まで抽出する触覚信号処理技術の研究を実施した。

3. 研究の方法

まず、触覚信号処理の基礎理論を構築し、その性能を実証するため試作機として触覚を持った机、“Haptic Desk”を製作した。その様子を図1に示す(T. Tsuji, S. Sakaino: The 1st IEEJ Int. Workshop on Sensing, Actuation, and Motion Control, 2015)。構成は極めて簡易で市販の机の脚に力覚センサをそれぞれ固定する、というものである。力覚センサには、Leptirino社の6軸力覚センサCFS034CA301Uを4機使用した。力覚センサの出力をノートパソコンで処理し、OpenGL上で接触点を表示する構成とした。接触点の検出方法については既に研究代表者らが基礎技術を開発していたが、従来法で

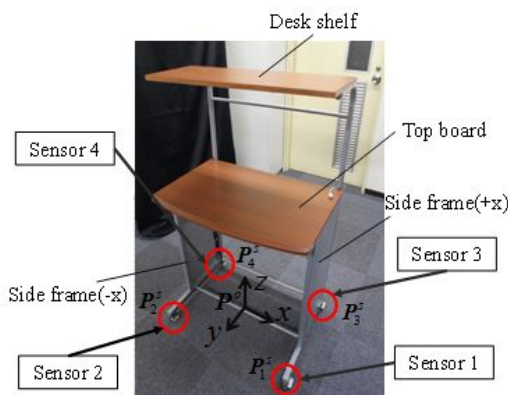


図1 Haptic Desk

は凸包の形状にのみ本理論を適用可能であった。様々な形状の機器に対応できるようにするため、非凸包形状に本理論を拡張する手法を新たに開発した(栗田直幸, 境野翔, 辻俊明: 電気学会産業応用部門誌, Vol. 134, No. 5, pp. 517-525, 2014)。

Haptic Deskには図2に示すように、数種類のモードを設定し、それぞれのモードで触覚信号処理を実装したアプリケーションプログラムを実行する形とした。(a)基本モードは、接触点と外力ベクトルを表示するモードである。(b)筆跡モードは、接触点を連続描画し筆跡を残すモードである。(c)パワーポイントモードは、仮想スイッチを押すことでパワーポイントを操作するモードである。仮想スイッチは、天板と側板(右)上に設定した。側板の3つのスイッチを操作することで、基本モードから各モードへの切り替え、筆跡履歴の消去、使用するエンドフェクタの面の選択を行うことができる。天板のスイッチは、パワーポイントのモード中に使用することができる。

これらのモードではそれぞれのアプリケーションに応じて必要な触覚信号処理技術(物体認識、命令認識、個人認証など)を実装している。

4. 研究成果

上記開発技術の評価の内容を一部以下に述べる。

まず、接触点の位置推定精度を測定するために、Haptic Desk上に外力を作用させる点を27点設定し、5Nの一定の力を作用させた。この際、仮想スイッチは動作しないものとした。同一の点に対して5回外力を作用させ、外力の作用点と接触点の平均誤差を算出した。図7は、天板・上棚・側板(右)・側板(左)での誤差を図示したものである。各面での平均誤差は0.025、0.021、0.028、0.034 mであった。外力の作用点を推定する際に誤差が発生する原因は、センサでのノイズ、非線形性や多軸干渉といったセンサ特性の影響、エンドフェクタの寸法のモデル化誤差等が挙げられる。Haptic Deskはセンサの耐久性

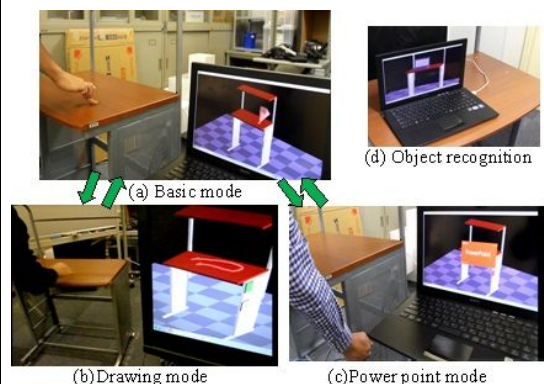
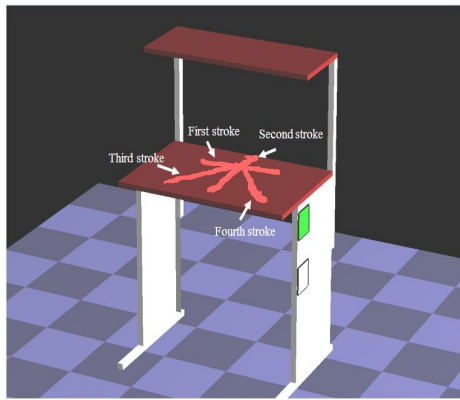
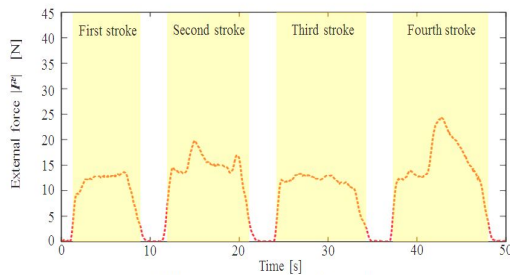


図2 触覚信号処理を適用したデスクの動作



(a) Drawing result of “木” using Open GL



(b) Force response when “木” was drawn

図3 筆跡モードの結果

を考慮し、Z軸方向の耐荷重が300Nの力覚センサを使用し非線形性や多軸干渉の影響が大きくなっている。よって、耐荷重の小さい力覚センサを使用することで推定精度が向上する。

筆跡モードでは、接触点の履歴に加えて筆跡の太さを制御することができる。なぞる際の力の大きさを変化させ、天板上に「木」という文字を書きあらわした。図3(a)は筆跡モードで表示をした結果である。また、(b)は各画数での外力ベクトルの大きさを図示したものである。本実験機は、位置情報に加え力情報を検出することができる。このことから、一度の入力動作で複数の情報を入力可能であることが示された。

次に、机のような剛性の高い機構だけでなく力覚センサを用いた全身触覚において接触部分に柔軟素材を用いた場合の検証を行った。柔軟素材の変形により誤差は増えるため、外力変位特性を計測し補償アルゴリズムを開発した (N. Kurita, H. Hasunuma, S. Sakaino, T. Tsuji: The 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2013)。

図4は外力を作用させた点と力覚センサを用いて算出した点の45点分の平均誤差を示した結果である。図は左側から、(a)エンドエフェクタにウレタンスポンジを用いて算出した場合の誤差、(b)エンドエフェクタにウレタンスポンジを用いて外力変位特性から得られた近似直線より補正をした場合の誤差、(c)アクリルをエンドエフェクタに用いた場合での誤差である。なお、(c)のアクリルをエンドエフェクタに用いた場合での実験機は、

500 × 500 × 500mm の x,y 軸方向の長さが100mm 短く、ひとまわり小さい実験機で行った結果である。また、外力の作用点の設定は今回の実験と同様の45点である。点の設定の仕方と同様に、各面の中心に点を設定しそこから格子状に200mm離れた場所に点を設定した。(a),(b),(c)の平均誤差は27.2mm, 16.3mm, 13.2mmである。(a)の結果は外力によってエンドエフェクタの変形が起こっているが、エンドエフェクタの形状は変化しないものとして算出されているため(b),(c)と比べて大きな誤差となっている。(b)の結果では、柔軟素材の外力変位特性から求められる近似直線よりエンドエフェクタの変形を推定していることから、(a)よりも誤差は小さくなっている。また、外力によるエンドエフェクタの変形が小さい(c)の結果と同程度の誤差となっている。柔軟素材をエンドエフェクタに用いることで、変形による誤差が発生するが、外力変位特性を用いることで誤差を低減することができる。なお、(c)のエンドエフェクタの変形が起こらない場合においても誤差がある。この誤差は力覚センサの多軸干渉や非線形性によるものである。従って、(a),(b),(c)のどの場合においても同様の誤差が発生すると考えられる。

この補正アルゴリズムによって、従来のアクリルのような材料と同程度の精度で柔軟

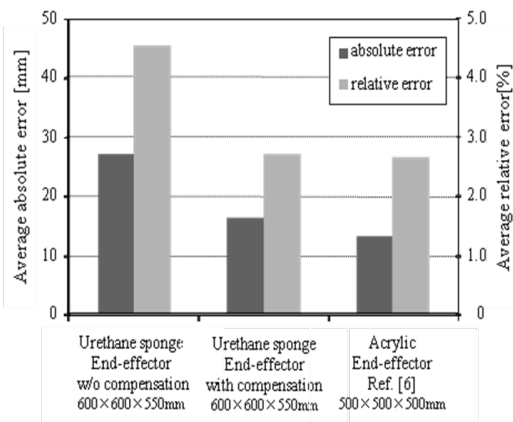
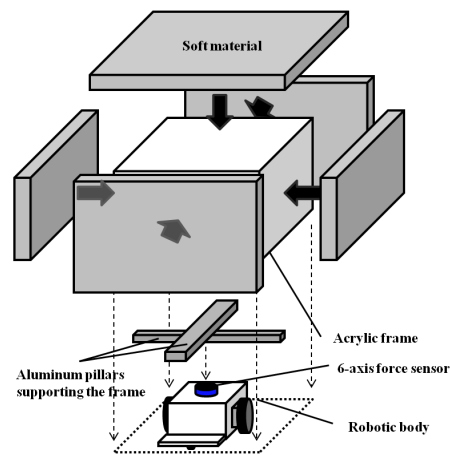


図4 柔軟素材での結果

素材を用いても全身触覚が行えることが示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

T. Tsuji, N. Kurita, S. Sakaino: "Whole-body tactile sensing through a force sensor using soft materials in contact areas," ROBOECH Journal, 査読有, 1:11, 2014

栗田直幸, 境野翔, 辻俊明: "接触時における外力ベクトルの変化を用いた非凸包型エンドフェクタでの全身触覚," 電気学会産業応用部門誌, 査読有, Vol. 134, No. 5, pp. 517-525, 2014

[学会発表](計8件)

T. Tsuji, S. Sakaino: "Haptic Signal Processing of a Desk-Type Interface Using Force Sensors," The 1st IEEJ Int. Workshop on Sensing, Actuation, and Motion Control, 査読有, IS4-5, 2015年3月9-10日, 名古屋工業大学(愛知県名古屋市)

T. Tsuji, N. Kurita, S. Sakaino: "Development of a desk-type tactile interface using force sensors," Proc. The 40th Int. Conf. on Industrial Electronics, Control and Instrumentation(IECON'14), 査読有, pp. 5248-5253, 2014年10月29日-11月1日, ダラス(米国)

関樹, 境野翔, 辻俊明: "身の回りの物をインターフェース化する力覚検知デバイスの開発," 日本ロボット学会学術講演集, 2P1-05, 2014年9月4-6日, 九州産業大学(福岡県福岡市)

辻俊明, 栗田直幸: "力覚センサによる触覚技術を用いたインタフェースの開発," ロボティクス・メカトロニクス講演会2014, 1P1-X05, 2014年5月25-29日, 富山国際会議場(富山県富山市)

N. Kurita, H. Hasunuma, S. Sakaino, T. Tsuji: "Simplified Whole-Body Tactile Sensing System Using Soft Material at Contact Areas," Proc. of the 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 査読有, pp. 4262-4267, 2013年11月10-13日, ウィーン(オーストリア)

松崎亮平, 上林誠, 境野翔, 辻俊明: "線接触を伴う道具を使用するロボットのハイブリッド制御," 平成24年度電気学会産業応用部門大会講演論文集, Vol. II, pp. 65-70, 2012年9月5-7日, 千葉工業大学(千葉県)

蓮沼裕喜, 栗田直幸, 境野翔, 辻俊明: "多様な形状に応用可能な力覚センサを用いた触覚技術の開発" 電気学会産業計測制

御研究会, IIC-13-146, 2013年3月7-8日, 千葉大学(千葉県千葉市)

N. Kurita, S. Sakaino, T. Tsuji: "Whole-body Force Sensation by Force Sensor with End-effector of Arbitrary Shape," Proc. 2012 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, 査読有, pp. 5428-5433, 2012年10月7-12日, ヴィラモウラ(ポルトガル)

[図書](計1件)

阿江通良ほか62名, 「アンチ・エイジングシリーズ4 進化する運動科学の最前線」第2編第5章第1節, NTS出版, 2014年12月1日発行, 440ページ(pp.347-353を担当)

[その他]

ホームページ等

<http://robotics.ees.saitama-u.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

辻俊明 (TSUJI, Toshiaki)

埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号: 60434031

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし