

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 8 日現在

機関番号：12401
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2010 年度 ～ 2011 年度
 課題番号：22760312
 研究課題名（和文）触覚認識技術に基づく人間支援ロボティクス

研究課題名（英文）Human Support Robotics Based on Haptic Recognition

研究代表者 辻 俊明 (TSUJI TOSHIAKI)
 埼玉大学・理工学研究科・助教
 研究者番号：60434031

研究成果の概要（和文）：

触覚センサを指でなぞった軌跡を DP マッチング法に基づき認識する入力方式「ハプティックジェスチャ」とその応用技術を開発した。以下の 3 点を実験的に実証し、直感的でありながら短時間でより多くの情報を伝達する触覚コミュニケーションが実現されることを示した。

- ・支持点の数を増やした新たなメカニズムを開発し、センシング帯域を向上
- ・任意形状でのロボットのジェスチャ認識を可能とする信号処理技術を開発
- ・バイオメトリクス認証へと拡張

研究成果の概要（英文）：

Haptic modality is one of the most important considerations in man-machine communication. Therefore, this project developed a technique to recognize commands based on the signals from tactile sensors.

Firstly, the command recognition technique so-called “haptic gesture” was developed for efficient operation of a human support robot. Since the tactile sensor has drawbacks of low stiffness and low strength, a mechanism with multiple supporting points was developed. It was shown that the recognition rate improves with the multiple supporting point mechanism.

Secondly, a whole-body force sensation algorithm for a non-convex shaped end-effector was developed. The limitation on the shape of the tactile sensor was eliminated with this algorithm.

Thirdly, this project introduced a personal identification technique based on force information of finger tracing. Compared to other biometric methods, the proposed method has the advantage of high security due to the non-visible nature of force information.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：ロボット，触覚，力学，命令認識

1. 研究開始当初の背景

ロボットは身体的に人間を支援する系であるため，人間－機械間の力学的インタラクションを陽に活用したインタフェースを構築することが望まれている。触覚コミュニケーションは視聴覚に次ぐ新たなモダリティとして注目されているが，他のモダリティと異なり，作用反作用の法則に代表されるように入出力が同時に発生する双方向性という制約を有する。双方向性により触覚制御系の解析は複雑になるため，触覚情報を用いた認識技術は未確立である。

2. 研究の目的

以上の背景に鑑みて本研究課題では「ハプティックジェスチャ」という，触覚情報に基づく認識技術の概念をロボット制御に導入し，人間の指令や意図を認識する技術を開発する。既存のタッチパネルインタフェースと比較して，触覚情報に基づく入力方式は力情報の付加による多次元化でコミュニケーション帯域が向上される可能性がある。また，力情報は不可視であるため，秘匿性の要求されるコミュニケーションへの適用が期待される。本技術に基づく能率的触覚コミュニケーションの実現により人間支援ロボットの操作性・親和性が向上されることを示す。

3. 研究の方法

本研究で提案する手法では，予めロボットの外殻に対して特定の撫でる動作を登録しておく。この予め登録されたデータと，何かがロボットを撫でたときの軌跡・力の強さなどを比較し類似度を算出する。そして類似度が一定以上の場合には登録パターンと同一であると認識する。

接触の位置と力を検知するセンサとしてハプティックアーマと呼ばれる独自の触覚センサを利用するが，外殻部の剛性が低い際に生じる振動がノイズの原因となり，ハプティックジェスチャの認識率を劣化させる要因となる。そこで図1のように支持点の数を増やした新たなメカニズムを開発し，この課題を解決した。支持点にはそれぞれ3軸の力

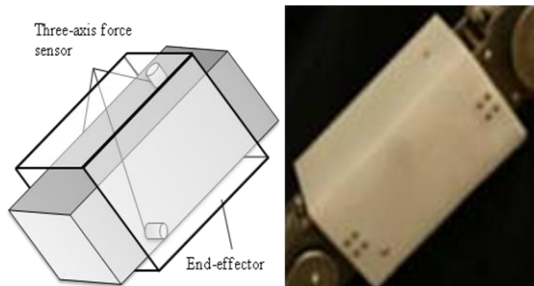


図1 多点支持の触覚センサ

センサを埋め込み，それぞれの力センサの応答を合成し合力を導出するアルゴリズムを開発した。本メカニズムにより表皮に一切配線を施すことなく，簡易かつ剛性の高い構造での触覚検知が可能となった。そして，この成果によりハプティックジェスチャに基づく作業支援の能率が向上するという結果が得られた。

本研究で用いる触覚検知メカニズムは力ベクトルとモーメントの値から合力の作用する直線を同定し，その直線と外殻の交点から接触位置を推定するアルゴリズムとなっている。そのため非凸包型エンドエフェクタを用いた際に接触点の候補が複数存在し，従来技術では正確な検知が困難である。しかし時間経過に伴い外力ベクトルの方向が変化する特性を陽に利用すると，複数の候補点のうち実際に接触している1点のみ外力ベクトルの方向に依存して位置情報が変動しないという特性が明らかになった。したがって複数の候補点のうち時間経過に伴う位置情報の変動が小さい1点に限定すれば接触位置が同定できる。この特性に基づき，非凸包形状において接触位置を検出する信号処理技術を開発した。

次に軌跡比較の手法を述べる。まず，触覚センサから一定時間間隔で読み取られた接触点座標系列の位置と力の特徴点を抽出する。位置の情報は再現性が高いのに対して，人間が物を押す力は再現性が低い。予備試験の結果，被験者によっては，連続して行った実験にもかかわらず10N程度の力のばらつきがあることが判明した。そのため図2,3に示すように位置に対して力のデータ間距離には個人間の差が少なく，力の情報のデータ間距離を比較するのみで入力パターンを識別するのは困難である。そこで，力の強さではなくどのように力を変化させたかを評価することとする。そのために，力の強さを10段階に分割し，力の最大値が10となるように規格化を行う。そして，10段階で表した力の強さが変化する点を特徴量として抽出する。

次に抽出された軌跡の特徴点に対して日本語文字認識などで用いられているDPマッチング法を施すことで命令認識や個人認証を遂行する。DPマッチングは，時間軸の変動に対処するためテンプレートデータに対して入力データの時間軸を非線形に歪ませ，最適に照合させる手法である。本実験では撫でた軌跡の座標に対するDPマッチングと力情報に対するDPマッチングを併用することで自由度の高い認証を実現した。

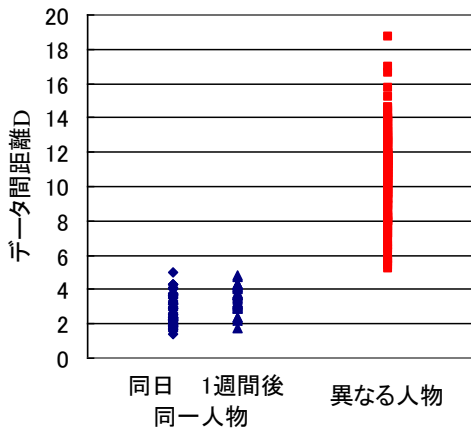


図2 軌跡の DP マッチング結果

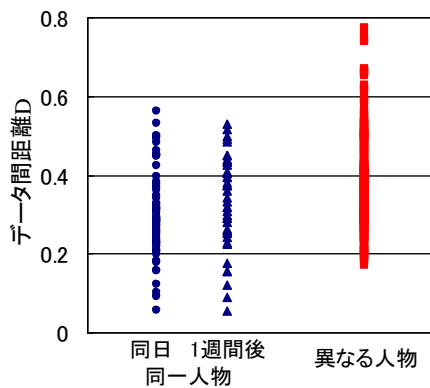


図3 力の DP マッチング結果

4. 研究成果

まず、多点支持の触覚センサの精度を計測したところ、平均 20mm 程度の位置検出精度であった。複数の力センサの情報を合成する際にセンサの非線形性や他軸干渉に起因して誤差が発生したが、人間の上肢の位置検出分解能 35mm を下回ることが確認された。また、力検出の誤差絶対値の平均は 0.32N であり、高い性能が得られることが確認された。そしてこのセンサで 6 種類のハプティックジェスチャを認識する実証試験(試行約 1100 回)を行ったところ、FRR(命令拒否率:False Rejection Rate), FAR(誤受入率:False Acceptance Rate)はそれぞれ 0.6%, 0.2%であった。

次に多種多様な形状に適用できることを実証するため、図4に示すような非凸包形状での触覚認識を実施した。270 回の試行を行ったところ、正しい面を検出する確率は 94.4%であった。誤認識が生じる原因は外殻部の振動に起因する慣性力のノイズであった。今後の課題としてこのノイズを除去するアルゴリズムを開発する必要がある。



図4 非凸包型のメカニズム

次にハプティックジェスチャの理論をバイオメトリクス認証へと拡張した。被験者にはそれぞれ任意のなぞり動作を記録してもらい、その軌跡と力応答に基づき個人の識別を行った。個人が任意に指定したなぞり動作を認証するため、パターンを恣意的に変更することも可能であり、その特徴はパスワード認証に近い。ただし、個人の身体的特徴も反映されることから、パスワード認証と生体認証の双方の特徴を併せ持つと言える。

実験の結果を図5に示す。異なる被験者のパターンを比較した場合と同一の被験者のパターンを比較した場合でデータ間距離が異なり、識別に利用できることが判明した。図6にそのエラーレートを示す。他のバイオメトリクス認証に匹敵する FAR, FRR であり、ジェスチャ動作に基づく認証は直感的なため記憶しやすく、高い認証率が得られることが確認された。また、その様子をビデオで撮影し、ビデオを見ながら他者が入力パターンをまねする実験を行った。触覚情報が不可視であるが故に力情報を模倣することができないことが確認された。他のバイオメトリクス技術と異なり第三者による記録が極めて困難であり、なりすましのリスクが低いことが示された。また、入力は極めて短時間で直感的であることから、人間支援の能率を損なうことなくロボット利用の安全性が向上されることが確認された。

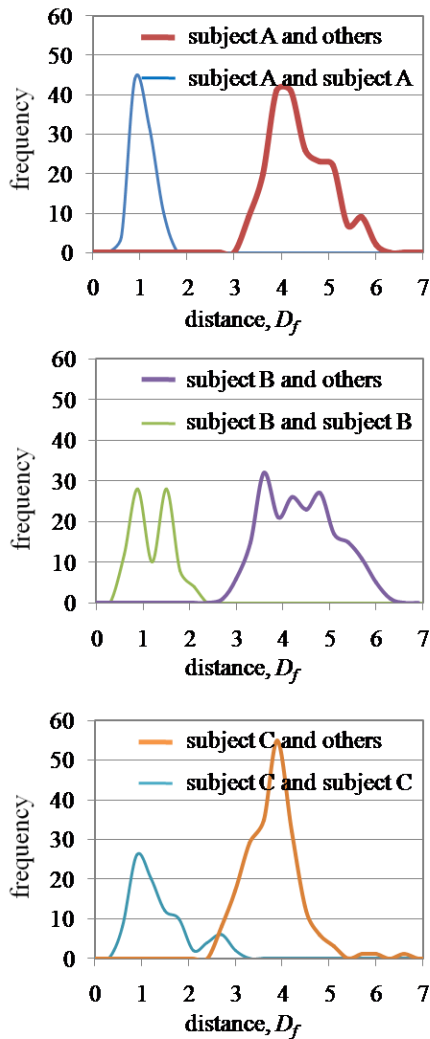


図5 個人同士のデータ間距離

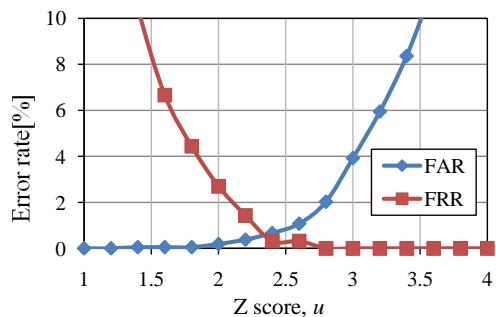


図6 触覚認証のエラーレート

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1件)

- ① 羽生 良輔, 辻 俊明,
 複数の支持点を有する甲殻型触覚センサの開発
 とマニピュレータへの応用, 電気学会産業応用

部門誌, 査読有, Vol.131-D, 2011, pp.1128-1134

[学会発表] (計2件)

- ① 栗田直幸, 境野翔, 辻俊明,
 力学センサを用いた非凸包型エンドエフェクタ
 での全身触覚, 電気学会産業応用部門産業計測
 制御研究会, 2012年3月6日, 神奈川 (横浜国立
 大学)

- ② Toshiaki Tsuji, Junichi Arakawa,
 Real-time personal identification based
 on haptic information, The 2011 IEEE
 International Conference on Robotics and
 Automation, 2011年5月10日, 上海 (Shangha
 i International Convention Center)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)

名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 出願年月日:
 国内外の別:

- 取得状況 (計0件)

名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 取得年月日:
 国内外の別:

[その他]

<http://robotics.ees.saitama-u.ac.jp/research.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・助教
 研究者番号: 60434031

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()