

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 5 月 15 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21500201

研究課題名（和文） コミュニケーションにおける感覚モダリティシステムの研究

研究課題名（英文） Study on sense modality system for communication between human and robot

研究代表者

林 英治（HAYASHI EIJI）

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号：60267416

研究成果の概要（和文）：

微細な物体の特徴を見出すために、力覚および視覚フィードバックを使った複合現実感システムを研究開発した。ユーザーが微細物体に触れているかのように力覚を感じることができるようにするために、ハプティックデバイスと複合現実感システムを構成した。本研究の成果は、ユーザーが微細物体に触れているかのように力覚を感じることができる複合現実感システムの検証について述べる。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this research has been to develop a combined sense system that uses both force feedback and visual feedback to find out the microscopic features of a microsample. It is thought that the efficiency of minute procedures would be improved if the operator were able to have a sense of force while using a manipulator. A haptic device, the force and the visual senses system on microscopic features are structured to give a sense of that force to a user, who can feel the force as if he/she touched the sample with a cantilever. This study described the developed haptic device in our combined sense system was developed so that the user can feel a force as if he/she had touched the microsample.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトウェア工学

キーワード：感性ロボティクス

1. 研究開始当初の背景

これまでに本研究と関連する分野で、ロボットの環境認識や人物・物体認識、音楽の芸術性に関わる処理技法、ロボットの人物認識

と意識を融合させるロボットを構築した。これらの研究を踏まえ、力や視覚が 100000 分の 1 程度の世界に対して仮想体験可能な装置を構築すれば、

(1) 仮想現実の世界と実体世界をつなぐことができ、さらに、テレコミュニケーションへの応用や力学環境の組織・細胞への影響について新原理や新現象の発見と解明に資する。

(2) 視覚と力覚の複合感覚を提示することができれば、人間の未知なる微細組織を扱う医療の教育システムも構築でき、人が新たな感覚を認知できるようになる。
のではないかと考えたのである。

2. 研究の目的

以上のような背景を基に、本研究では、マイクロ・ナノレベルである微小物体の感覚量としてこれまで不適であった皮膚などを用い、実物体と仮想物体の重畳的画像から複合現実感を提示・教示するシステムを構築し、人間の不定な感覚量を伝えることのできるコミュニケーション支援システムを提案する。顕微鏡、CCDカメラおよび細胞操作用マニピュレータのマイクロメカトロニクスを統合した装置システムを構築し、力覚提示装置、複合現実感のモデルと高速処理システム（力学シミュレータと重畳画像処理）を開発し統合するものである。

3. 研究の方法

具体的には、本研究の目的を達成するために、以下の3項目の課題を設定した。(1)ハプティックデバイスおよび顕微操作システム、(2)微細物体の力覚(反力)および視覚のシミュレータ、を主体に研究開発を遂行した。課題を進めていくうちに、

- ・ハプティックデバイスの指先などの局所の力覚が他の自由度に影響すること
- ・制御系の収束性や不安定現象の問題
- ・人間の動作は筋活動によって決まるため、この筋活動による反射の時間遅れと筋の収縮時間で決定する必要がある

との考えを得た。そのため、上記3つを解決するべく、(1)~(2)の課題を精査しながら、下記にそれらの内容を概説する。

(1) ハプティックデバイスおよびシステム

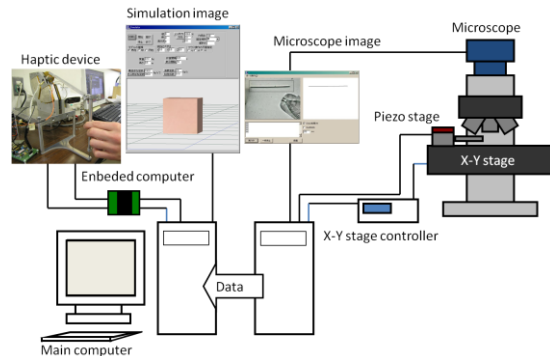
ハプティックデバイスは2自由度系の2指感知型アクチュエータとし、10 Hz以上の高速応答性と30 N程度の発生力および1000 Hz以上の演算サイクルを可能とするハプティック専用の組込み型CPUを用いた制御機能分散によるサーボシステムとした可動線輪型ハプティックを提案した。本研究では、以下の3項目について検討を行い、実証を行った。

- ① 2自由度、2指感知型アクチュエータ機構の実現
- ② 制御機能および制御系の設計
- ③ ハプティックデバイスの性能評価と実証実験

(2) 微細物体の力覚(反力)および視覚のシミュレータ

力入力に対する過渡・短期応答、慢性変形後の応答を対象とする計算モデルを構築する。力覚提示装置と実時間で連動するように構築し、これに基づいて仮想物体表面画像モデルを構築する。

4. 研究成果

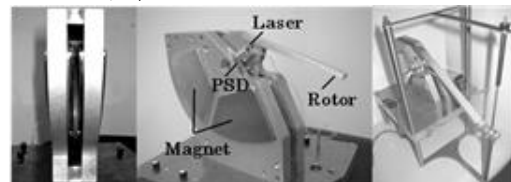


コミュニケーションにおける感覚モダリティシステムの構成を図1に示す。

図1 システム構成図

(1) ハプティックデバイスおよび顕微操作システム

顕微操作システムは、位置制御用に積層型ピエゾ素子アクチュエータ、変位や力計測にはカンチレバーを用いる。積層型ピエゾ素子アクチュエータの各軸に対応させた2軸のベースアクチュエータを構成、マイクロオーダーの変位制御を実現する。積層型ピエゾ素子アクチュエータの変位、カンチレバーから得られた力・変位をそれぞれスケールした値



によってハプティックデバイスを駆動させ、操作感覚や細胞反力を提示できるように構成した。

図2 指感知型ハプティックデバイス

図2に示す2指感知型ハプティックデバイスは、軽量のロータ、高い磁束密度の磁気回路、高精度な位置検出機構を組み合わせ、物体表面の触診、穿刺やメス動作を可能とするために、図3のような機構を開発した。2指感知型ハプティックデバイスの下方に、PSDセンサを組み合わせたスライド機構を構成した。オペアンプ回路による制御システムで、バンド幅 130 Hz の高い周波数応答を得ることができ、ハプティックに望まれる幅広い弾性と高速な応答を実現できることを確認した。そしてまた、ハプティックとして仮想物体に触れたときの反力等を模擬できるようにするために、制御機能を分散するデジタルサーボ化を行い、40 Hz 程度の応答性、バネ定数換算で 3.59 N/mm までの剛性、減衰係数 0.05 までの粘性を可変にした。その結果、ハプティック単体でバネ・ダンパシステムを構成でき、コンピュータ上の仮想空間の計算の負担を大幅に減らせることを実現した。

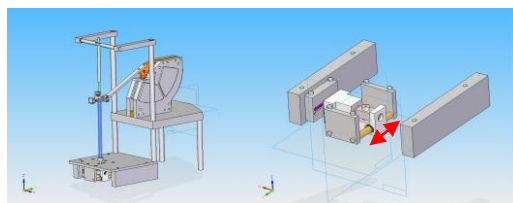
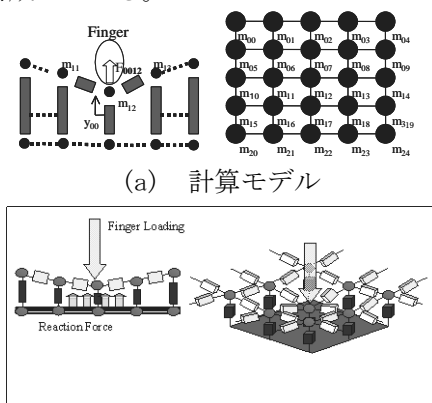


図3 2自由度機構

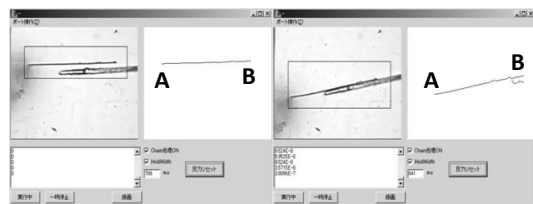
(2) 微細物体の力覚（反力）および視覚のシミュレータ

仮想試料の表示の際に行われる画像処理や試料の変位・反力などの計算の効率化を図るため、仮想試料を弾性力学モデルとして計算を行った。仮想試料を図4に示すように、立方格子状に配置し、各質点に対して垂直方向と平行方向にバネ・ダンパ並列要素モデルを構成している。



(a) 計算モデル
(b) 力を加えた場合の変形
図4 仮想試料の弾性力学モデル

シミュレータ上で、表現できる形状は立方体、球、円柱の三種類を作成し、任意の座標点を入力すれば、近似的な形状を表現できるようにした。質点数も立方体の場合は初期値



を144個とし、計算時間は10[msec]をとって、微細物体を扱う挙動を再現できることを実現した。

図5 顕微鏡下の微小物体（産毛）

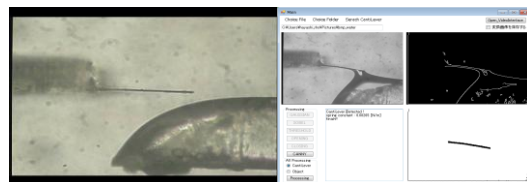


図6 顕微鏡下の水滴

以上のような課題を実現し、実験検証を行った。

顕微鏡下の微小物体として、産毛（直径約 0.016 mm）と、水滴を試料とし、カンチレバー長さ 100 μm 、バネ定数 0.82 N/m での反力を計測した。

図5は産毛であり、カンチレバー（図中□内）は移動分解能 1.3 $\mu\text{m}/3000$ pulse で 36 μm （図中 A）動かし、顕微画像処理によってカンチレバー（図中 A-B）をトラッキングすることで、カンチレバーのたわみを測定し、バネ定数約 0.33 $\mu\text{N}/\mu\text{m}$ 、変位 13 μm という値を得た。

図6は水滴であり、結果的には水滴の表面張力であるが、その張力は 82.05 mN/m であった。

産毛の反力や水滴の表面張力の力覚は実際には感じるできない感覚量でありながらも、反力を拡大することで、擬似的な感覚提示を実現した。そして、カンチレバーによる pN の力計測を可能とした。しかしながら、実際の変化は 10^{-6} 倍小さくなるため、被験者はシミュレータのグラフィクスにリアリティがなく、産毛を触っているのか疑問である感じており、実際の画像を用いたグラフィクスを提供する必要が認められた。

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 13 件）

- ① Tatsuya Domoto, Eiji Hayashi, Construction of a sense of force feedback and vision for micro-objects : Recreate the response and a sense of force of objects, Artificial Life and

- Robotics(AROB 17th '12), 査読有, 2012, pp.1131-1134.
- ② Motoki Yoshida, Kei Ueyama and Eiji Hayashi, Design of robotic behavior that imitates animal consciousness: Construction of the user- recognition system, Artificial Life and Robotics(AROB 17th '12), 査読有, 2012, pp.1071-1074.
 - ③ 林英治, 野田純平, 上原亮, VC モータを用いた力覚ハプティックデバイスの開発, 日本 AEM 学会誌, 査読有, Vol.19 No.4, 2011, 653-660.
 - ④ Eiji Hayashi, Kei Ueyama and Motoki Yoshida, Autonomous Action Selection with Motivation -based Consciousness and Behavior Architecture of Animal, Proceedings of The 5th International Conference on Automation, Robotics and Applications, 査読有, 2011, pp.294-299.
 - ⑤ Eiji Hayashi, Kei Ueyama, Motoki Yoshida, Autonomous Motion Selection via Consciousness-based Architecture, Proceedings of The 5th Int. Conference on Automation, Robotics and Applications, 査読有, 2011, pp.401-402
 - ⑥ Eiji Hayashi, Takahiro Yamasaki, Design of robotic arm's action to imitate the mechanism of an animal's consciousness, Journal of Artificial Life and Robotics, Vol.15, 査読有, 2010, pp.565-570.
 - ⑦ Kouichirou Kurogi, Eiji Hayashi, Design of robotic behavior that imitates animal consciousness -Emotion expression of robotic arm based on eyeball movement-, Artificial Life and Robotics(AROB 16th '11), 査読有, 2011, pp.956-959.
 - ⑧ Jyunpei Noda, Eiji Hayashi, Construction of a sense of force feedback and vision for micro-objects: Development the Haptic Device's controlling, Artificial Life and Robotics(AROB 16th '11), 査読有, 2011, pp.901-904.
 - ⑨ Ryo Uehara, Eiji Hayashi, Construction of a sense of force feedback and vision for micro-objects, Artificial Life and Robotics (ARO B 15th '10), 査読有, 2010, pp.497-500
 - ⑩ Kouichirou Kurogi, Eiji Hayashi, Design of robotic behavior that imitates animal consciousness -Development of Method for Pursuing or Escaping from an Object-, Artificial Life and Robotics (ARO B 15th '10), 査読有, 2010, pp.885-888.
 - ⑪ Takahiro Yamasaki, Eiji Hayashi, Design of robotic arm's action to imitate the mechanism of an animal's consciousness, Artificial Life and Robotics(AROB 15th '10), 査読有, 2010, pp.873-876.

- ⑫ Ryo Uehara, Eiji Hayashi, Construction of super- micro sense of force feedback and visual for micro objects -Develop the haptic device-, Journal of Artificial Life and Robotics, 査読有, Vol.14, 2009, pp.104-109.
- ⑬ Eiji Hayashi, Takahiro Yamasaki and Koichiro Kurogi, Autonomous Behavior System Combing Motivation with Consciousness Using Dopamine, IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, 査読有, 2009, pp.126-131.

[学会発表] (計 10 件)

- ① 堂本竜矢, 林英治, 顕微操作における微小力覚・視覚支援システムの開発, 日本機械学会九州支部第 65 期総会・講演会, 2012 年 3 月 16 日, 佐賀大学 (佐賀)
- ② 吉田元樹, 林英治, 生物の意識メカニズムを模倣したロボットの行動設計, 日本機械学会九州支部第 65 期総会・講演会, 2012 年 3 月 16 日, 佐賀大学 (佐賀)
- ③ 田中恭子, 林英治, 生物の意識メカニズムを模倣したロボットアームの行動設計 ～利他的行動の手法開発～, 日本機械学会第 43 回学生卒業研究発表講演会, 2012 年 3 月 12 日, 佐世保高専 (長崎)
- ④ 吉田元樹, 林英治, 単眼カメラを用いたユーザ認識システムの開発, 日本機械学会九州支部宮崎講演会, 2011 年 9 月 30 日, 宮崎大学 (宮崎)
- ⑤ 堂本竜矢, 林英治, 顕微操作における微小力覚・視覚システムの開発～物体の応答・力覚の再現～, 日本機械学会九州支部宮崎講演会, 2011 年 9 月 30 日, 宮崎大学 (宮崎)
- ⑥ 野田純平, 林英治, 顕微操作における微小・力覚システムの開発, 日本機械学会九州支部第 64 期総会・講演会, 2011 年 3 月 17 日, 九州大学 (福岡)
- ⑦ 上山慧, 林英治, 生物の意識メカニズムを模倣したロボットアームの行動設計 - 眼球運動に基づくロボットアームの感情表出 -, 日本機械学会九州支部第 64 期総会・講演会, 2011 年 3 月 17 日, 九州大学 (福岡)
- ⑧ 林英治, 野田純平, 上原亮, 力覚ハプティックデバイスに関する VCM アクチュエータの開発, 電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム (SEAD22_in_門司港レトロ), 2010 年 5 月, 門司港ホテル (福岡)
- ⑨ 野田純平, 林英治, 顕微操作における微小・力覚システムの開発, 日本機械学会九州学生会第 41 回学生員卒業研究発表講演会, 2010 年 3 月 9 日, 宮崎大学 (宮崎)
- ⑩ 上山慧, 林英治, 生物の意識メカニズムを模倣したロボットアームの行動設計

- 眼球運動に基づくロボットアームの感情表出 -, 日本機械学会九州学生会第41回学生員卒業研究発表講演会, 2010年3月9日, 宮崎大学 (宮崎)

[図書] (計1件)

- ① Eiji Hayashi, INTECH, Advances in Human - Robot Interaction, 2009, 273-287

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 英治 (HAYASHI EIJI)
九州工業大学・大学院情報工学研究院
・准教授
研究者番号 : 60267416