

研究課題別評価

1. 研究課題名 : 生体の力学的信号に基づくコミュニケーション

2. 研究者氏名 : 小池 康晴

ポスドク研究員 関 庚甫(ミン キョンボ) (研究期間 2001.4.1 ~ 2003.9.30)

3. 研究の狙い :

人間と機械のインタフェースを考える場合、機械の設計段階で如何に人間の特性を考えてデバイスを作るかで操作性が大変異なる。インテリジェントなヒューマンインタフェースとは、

(a) 人間が機械の特性を感じることができる。

(b) 機械が人間の特性を感じることができる。

これら両方が実現されてはじめて成り立つ。

インテリジェントなデバイスとして、自動運転が考えられる。現在、自動運転が行われている物の一つとして、飛行機の操縦があるが、今後は、自動車の運転なども ITS の進歩とともに実現されてくるものと予想される。しかし、自動操縦の結果と人間の行う操作が同じであれば問題ないが、人間が自動操縦に逆らった操作をしようとした時はどのようにするかは二つに別れる。一つは、自動操縦を優先させる、もう一つは人間の操作を優先させることである。自動操縦のアルゴリズムが複雑になればなるほど人間にとって、どうして自動操縦の操作が生成されたのか理解できない。どうして生成されたのか理解できなければ、その操作の後、機体がどのように操作されるのかを予想することもできない。人間の脳には制御対象の結果を予想するモデルと、結果を生み出した操作入力を予想するモデルがそれぞれ存在すると考えられる。簡単のため、前者を推定モデル、後者を生成モデルと呼ぶことにする。

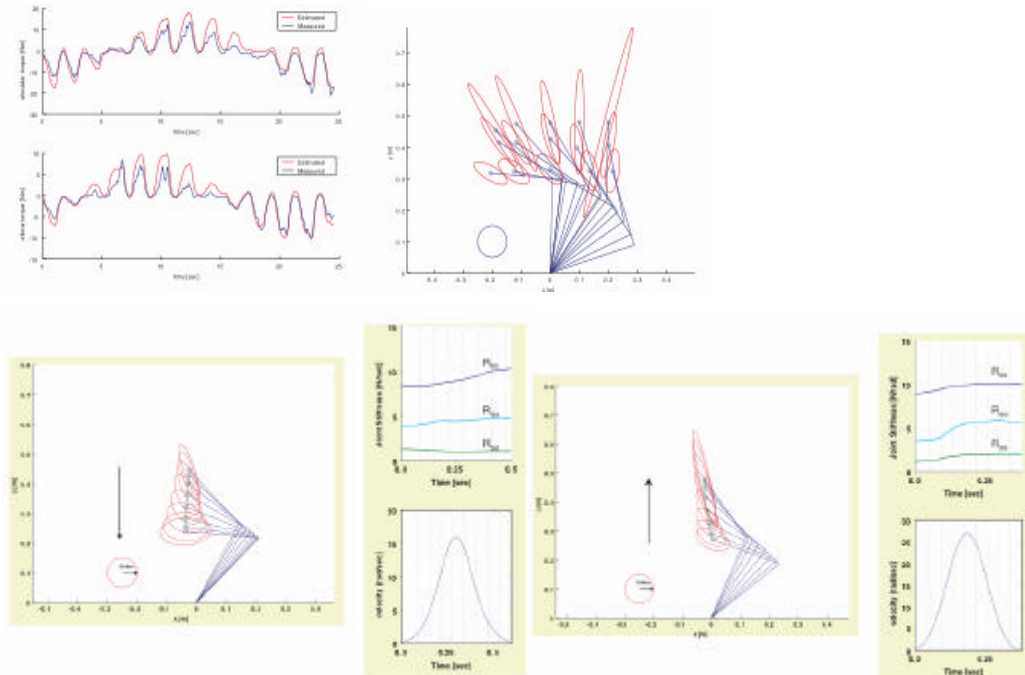
運動の学習は、これら二つの内部モデルを如何にうまく獲得するかという問題に置き換えることができると考えている。さらに、運動の学習だけでなく、高次の機能であるコミュニケーションも、推定モデルと予測モデルを組み合わすことで実現していると考えている。たとえば、(a)の人間が機械の特性を感じるということは、機械の内部モデルを人間が理解することになり (b)の機械が人間の特性を感じるということは、人間の内部モデルを機械が理解することである。人間同士のコミュニケーションでは、「あることを言えば、相手がどのように感じるのか」結果を予測し、また、「このように感じてほしいので、どのように言えば良いか」を考え、言葉を生成することができてはじめて会話が成立する。このように、協調して作業を円滑に行うためには、人間同士だけでなく人間と機械(扱う道具)とが理解しあい、適応的に順応する仕組みを構築する必要がある。例えば、初心者にとっては、熟練者のように滑らかに運動を行うことよりも、確実に目的を達成することに主眼を置くと思われるので、例えば、関節のインピーダンスを高くして自由度を下げ、操作を簡単にし、熟練者は、できるだけ関節のインピーダンスを下げ、自由度を高くし、滑らかで速い操作を実現させることができるデバイスの作成を目指す。

4. 研究結果 :

4.1 筋電信号からのインピーダンス推定

筋電信号を運動指令入力であるとし、筋肉のバネ的な性質と自然兆の変化をそれぞれ運

動指令の1次式と近似し、運動指令の2乗の項までを含んでトルクを計算する数式モデルを考える。その式の各パラメータを推定した結果、下図のように、計測したトルクとほぼ等しいトルクを推定することができた。さらに、静止中のステイフネス楕円体を計算すると、これまでマニピュラタムを用いて計算してきたステイフネスとほぼ同様の性質を持っていることが分かった。

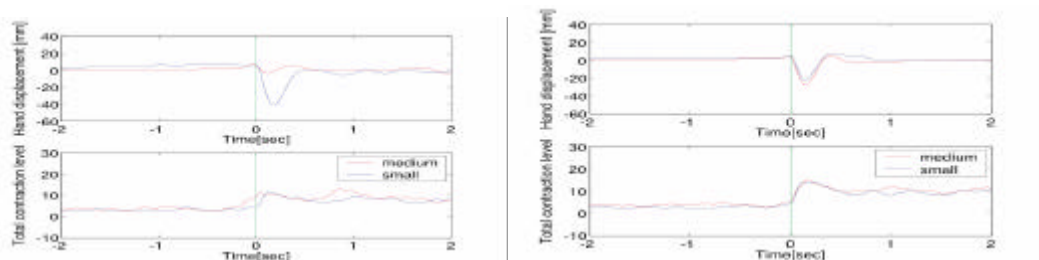


さらに運動中の関節トルクを逆ダイナミクスの計算により求め、ステイフネスを計算することで、上図のように、運動中のステイフネスの変化を時々刻々と調べることができた。

4.2 感覚入力情報と内部モデル獲得に関する心理物理実験

(1). Size-Weight illusion における重さの予測と知覚 認識

同じ重さであっても大きさが異なると小さい物体を重く感じる。この原因を探るため、物を持つときの腕の動きや筋電信号を計測した。また、計測した筋電信号から筋肉の活動を表すステイフネスと相関がある総活性度 (TCL) を計算した。下図は、左が最初に物体を持ち上げたとき、右が重さが同じと答えた20回目の記録である。重さが異なると答えたときは、物を持つ前から重さの予測に応じて腕を固くしていることが分かった。



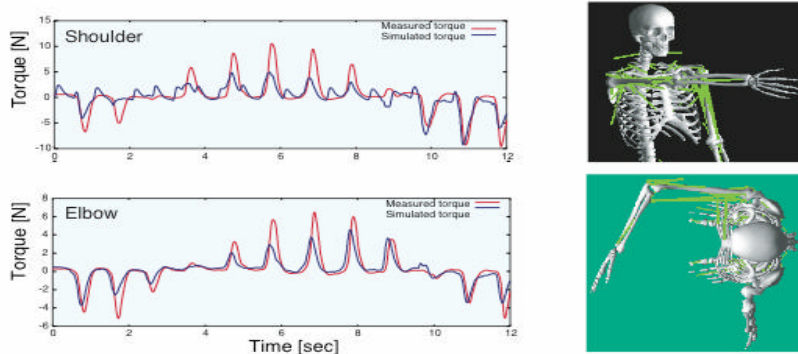
(2). Fitts' law と筋肉の活動

運動速度と精度の間には、Fitts' law と呼ばれる法則があることが知られている。具体的には、難しさが大きくなればなるほど、運動時間が長くなるというものである。

また、同時に計測した筋電信号を計測したところ、運動が終わったあと、筋肉の活動が徐々に低下していた。このことから、運動の終わりでは、同時活性化が起こっていることが示唆された。この結果は、これまで運動計画の理論として提案されている終端誤差分散最小規範では、説明ができない現象である。また、終端の精度を求めたときは、求めないときと比較して運動終端での筋肉の総活性度が増加している傾向にあることが分かった。

4.3 強化学習を用いた筋肉骨格系のモデル作成

筋肉の付着位置やモーメントアームなど、筋肉骨格系のパラメータを調整し、精度の高い筋肉骨格系のモデルを構築した。このモデルに、実際に計測した筋電信号を入力させ、出力である関節トルクを比較したところ、精度よく推定できることが分かった。



さらに、強化学習により、2 関節 6 筋のモデルを用いて、鉛直面内の姿勢制御が可能になった。

4.4 筋電信号とハプティックデバイスによる双方向通信ヒューマンインタフェース装置の作成

(1) 電気刺激による教示

力をどのくらい出したらよいのかを他人に教えるときに、たとえば、習字を習うときのように先生に手を持ってもらって力の大きさを教えてもらう場合と、電気刺激により筋肉を収縮させ力を発生させたときで、力を再現した結果を比較した。

その結果、手を使って受動的に力を感じるよりも、電気刺激により、筋肉が活性化して、筋紡錘などのセンサにより筋張力を計測した場合の方が再現性が良かった。このことから、ヒューマンインタフェースとして、双方向のデバイスを考えたとき、電気刺激は有効な手法であることが確認された。また、スティフネスについても同様の実験を行い、電気刺激によりスティフネスも定量的に教示可能であることが分かった。

(2) 筋電信号を通信するヒューマンインタフェース装置

VR 技術を用いて作成し実験装置を用いて、落下してくるボールを手の位置にあるカーソル(パドル)で打つ、パドルリング実験を行った。パドルの硬さを筋電信号に応じてリアルタイムに変化させることで、パドルの動きだけでなく、打つときの硬さを調節して同じ高さにボールを打つタスクを実現した。これは、現実世界では起こりえないが、ラケットの弦の強さをリアルタイムに変化させることに対応している。今後は、評価実験を行い、より良いインタフェースの設計につなげていきたい。

5.自己評価：

最初に考えていた4つの目標は、ほぼ達成できたと感じている。一番の成果は、筋電信号だけから定量的に正しいと思われるスティフネスを推定する方法を確立したことである。この成果により、これまで分かっていなかった心理物理現象の解明につながった。さらに、今後、ヒューマンインタフェースなどへの応用にもつながっていくと思われる。また、ポスドク研究員は、他の研究費では予算的に確保が難しいため、個人の研究を行うために長期的に契約が可能なこの制度は大変有用であった。

6.研究総括の見解：

力学的なコミュニケーションという立場から、介護ロボットなどの協調的な力学的インタフェース作成のために必要な筋電位からのスティフネスの正しい推定方法を確立した。人が機械を感じ、機械が人を感じるという最初のコンセプトの基本的な実現可能性を証明したことは評価できる。基本的なものの周りにあることや応用展開、特に機械システム側の研究に更なる進展を期待したい。

7.主な論文等：

論文誌

1. Jaehyo Kim, Makoto Sato, Yasuharu Koike (2002). "Human Arm Posture Control Using the Impedance Controllability of the Musculo-Skeletal System Against the Alteration of the Environments." The Institute of Control, Automation and Systems Engineers 4(1) 43-48.
2. 金 載然, 洪 性寛, 佐藤 誠, 小池 康晴 (2002). "SPIDAR を用いた size-weight illusion の検証." 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 7(3), 347-345.
3. 小池 康晴, 広瀬 秀顕, 飯島 敏夫 (2003) 筋電信号を用いた腕の運動制御. 日本神経回路学会誌, 10(1), 2-10

他 1 件

国際会議 (口頭発表)

1. Jaehyo KIM and Yasuharu KOIKE (2001). Human Arm Posture Control Using the Impedance Controllability of the Musculo-Skeletal System against the Alteration of the Environments. Proceedings of the 32nd ISR(International Symposium on Robotics), Seoul, Korea.
2. Y.Koike, O. Shimada, T. Shin, M. Sato (2002). DIRECT ARM IMPEDANCE ESTIMATION USING SURFACE EMG SIGNALS, Neuroscience 2002. Orlando, Florida, USA.
3. Akihiko SHIRAI, Shoichi HASEGAWA, Yasuharu KOIKE and Makoto SATO (2003). Trangible Playroom. SIGGRAPH2003, SIGKIDS, San Diego.

他 24 件

特許

1. 出願番号 特願 2002-212344, 発明者 : 小池康晴,
発明の名称 : 運動学習装置, 出願日 2002 年 7 月 22 日.
2. 出願番号 特願 2002-236024, 発明者 : 小池康晴、嶋田修,

発明の名称 :インピーダンス測定装置および運動学習支援装置, 出願日 2002年8月13日.