

実世界情報システムプロジェクト～VR 研究グループ～

実世界感覚情報の遠隔再構築とその医療応用

満洲邦彦 鈴木隆文
情報理工学系研究科 システム情報学専攻

竹内昌治
情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻 （生産技術研究所）

概要

本研究課題は、実世界における各種の物理的刺激を、遠隔地の人間に感覚情報として伝達し再構築するシステムの開発を目標として行っている。このようなシステムは、遠隔医療システム等におけるマスタ・スレーブシステムでの触圧感覚提示システム（図1）に利用できるだけでなく、義手表面における機械的刺激（触圧覚センサ）の情報を、装着者の感覚神経に触圧感覚情報として直接入力することにより、あたかも自分の手であるかのような自然な感覚を生成するような次世代義手システムへも利用できるものである。こうしたシステムを実現するためのキーテクノロジーとしては、下記の3つの技術が挙げられる。

1. 実世界感覚情報取得のためのセンサ技術：生体と同等の感度・空間分布で、外部実世界の感覚関連情報を取得しうるセンサ技術
2. 感覚情報の再構築・呈示技術：生体の感覚受容器や神経系への刺激により、機械系が検出する実情報空間と生体の脳内に構築される感覚情報空間との間で情報の自然な受け渡しを可能とする技術
3. 生体と機械系で情報空間を共有するための神経インタフェース技術：生体の神経系と外部情報機器との間で直接的な情報入出力を行い、感覚情報の再構築を行う技術

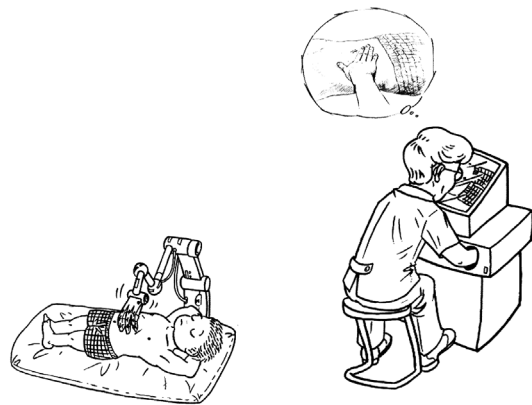


図1：遠隔医療システムにおける触覚フィードバック

本グループでは、これらのキーテクノロジーの研究を総合的に行っているが、今年度は特に 2) に関しては、昨年度に引き続き、感覚の拡大と縮小提示技術の検討に関連してアシストデバイスの開発を行い、3)の神経インタフェース技術に関しては、やはり昨年引き続き、神経系と高度な情報入出力を行うための多機能神経プローブの試作と改良、そして、ラットの運動野の神経情報により車両を操縦するシステム(Ratcar)の開発を行ったので、これらについて報告を行う。

1 力感覚の再構築・提示における拡大と縮小技術

医学・医療分野は、遠隔手術システムや人工感覚器、重症身体障害者のための擬似体験装置など Virtual Reality 技術の応用が最も期待される分野の一つである。この際、典型的な Virtual Reality 技術以外に、Augmented Reality という観点を含めると、応用領域はさらに大きな物となる。すなわち、マイクロ手術の際のように、スレーブ側で非常に小さな動きを非常に小さな力で行なわねばならないような場合も、マスタ側では普通の力・スケール感覚で操作を行なう事が操作者にとっては望ましいと思われ、マスタ側およびスレーブ側で発生させる力・操作量などの比率を変化させ、最適に設定してやる必要がある。逆に、筋力の弱い人間が大きな筋力を必要とする操作を補助し、あたかも操作者のパワーが倍加したように感じさせるような空間を作り出す場合には、スレーブ側では、マスタ側で操作する力に対して大きな力を発生させてやる必要がある。

本研究は、後者に属するもので、筋力が低下し、日常生活動作が不自由になってしまった人間を対象として、(その人間の) 動作のパワーを補助し、あたかもその人間の力が増加したように感じさせるようなパワーアシストシステムの開発を目的としたものである。

昨年度は指の動きを対象とし、非侵襲な計測が可能な生体信号である表面筋電信号を用いて、アシスト装置を製作し、表面筋電信号から推定した操作者の発生力の正確さと、この信号を使用したアシストシステムが安定に動作可能かについての検討を行なったが、本年度は、肘関節の動きをアシストするアシストデバイスプロトタイプを試作し、関節駆動トルクおよび関節剛性を同じく表面筋電信号から推定する事を試みた。

この実験に用いた装置構成、および実際の写真を図2、および図3に示す。表面筋電信号は上腕二頭筋および上腕三頭筋の直上部にそれぞれ表

面電極(Ag-AgCl)を貼付け、通過帯域 50 - 3000 Hz, サンプリング周波数 10 kHz, 積分時間 100msec で取得した。

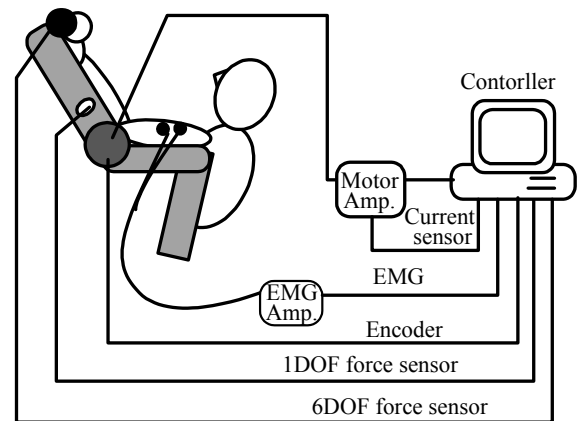


図2. 実験装置構成



図3. 実際に作成したアシストデバイス装置

1. 表面筋電信号からの関節トルクの推定

表面筋電信号から筋の活動度を観測し、関節の駆動トルクの推定を試みたが、関節を進展・屈曲させると、皮膚と筋の相対的位置がずれ、筋電信号を測定している部位が変化してしまう事、また、筋電信号と緊張力には関節角度に依存する非線形な関係が認められることから筋電信号は、下に示す多項式で処理を行い、各筋肉の積分筋電信号に対して関節角度をべき乗したものの総和を関節トル

クとして求めた.

$$\tau_m = \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^m \left(b_{ij} \theta^i \sum_{k=0}^s |emg_j(t-k)| \right) \quad (1)$$

(b_{ij} , θ 及び emg_j は, それぞれ係数, 関節角度, および表面筋電位であり, i は関節角の次数, j , は EMG のチャンネル数, および, s , は積分時間である. また, 係数 b_{ij} , は最小二乗法により決定した)

その結果, 関節角度の次数を 2 次まで用いた場合, 図 4 のように非常によく合致する結果が得られた. ($R=0.95$)

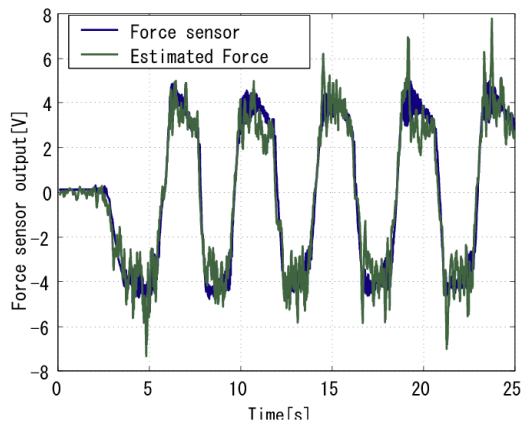


図 4. 関節トルクと筋電信号から推定したトルクと力センサで実際に検出したトルクとの対比

2. 表面筋電信号からの関節剛性の推定

まず, 肘関節に関する屈筋・伸筋の両者を同時収縮させた等尺性収縮状態でアシストデバイスを用いて肘関節に正弦波の摂動を与え, 力センサと変位から 100 msec 毎の時間区間における関節の動特性の同定を行った. 次いで, 肘関節を屈曲させている途中で二相性の摂動を与え, 同じく力センサと変位から, 関節の運動中の動特性の同定を行った. その結果, 前者の等尺性収縮時には, 伸筋・屈筋の同時活性化で関節の剛性が上がる事により表面筋電信号と剛性の相関が認められ, 筋電信号から関節剛性の推定が可能なのに対し, 後者の関節を運動させている途中では, 運動中の減

衰係数は負荷をかけた方が小さくなるという結果となった. これには反射など生体の制御系の影響などが関与している可能性が考えられ, 今後の検討が必要と考えられる. 上記のように, 1) 関節トルクは, 関節角度による補正を行う事で表面筋電位から良好に推定する事が可能で, これをもとに (関節トルクについては) 良好なアシストが可能と考えられる. また, 2) 関節の屈筋・伸筋が等尺性収縮を行っている場合は, 関節剛性と表面筋電位とは高い相関が認められるが, 運動中の関節剛性は負荷によって変化し, 予想に反して負荷が無い方が剛性が大きいという結果が得られ, 今後, 更なる検討が必要である.

現在, 表面筋電信号の代わりに, マイクロニューログラム針電極を用いて測定した針筋電信号を用いた解析を行うと共に, 下肢の運動に関するアシストデバイス (プロトタイプ) の試作を行っているところである.

2 多機能神経プローブの開発

神経系と外部機器との間で直接的な情報入出力を行うことによって, 従来 SF 小説でのみ語られてきたような様々な応用が可能となる. 例えば感覚神経に情報を入力することによって, 聴覚, 視覚などの感覚を人工的に生み出すことが可能であるし, 逆に, 運動神経の情報によって義肢を, また, 自律神経系の情報によって人工臓器を制御することも可能となる. このような応用を実現するためには, 長期間安定して, 究極的には個々の神経線維に対して情報の入出力を可能とするデバイスの開発が必要不可欠である. 我々は, これまでに, 様々な種類の神経電極を開発してきた. 平成 14 年度にはフレキシブル剣山電極として, 従来の堅い構造の剣山神経電極の欠点 (ずれやすさや, 神経組織への侵襲性, 2 次元的な計測点配置など) を克服する新しい神経電極を提案しパ

レンを基板材料として作成を行った。

今年度は、昨年度に引き続き、微小な流路を備え、かつ柔軟な構造を有する神経プローブの試作及び改良を行った（図5）。これによって、1) 従来微細ガラス管で行われてきた薬液注入やサンプリングが多点でかつ慢性的に行うことが可能となる。2) 流路出口近傍に電極を配置することによって、薬液注入に対応した神経活動の変化などを計測できる。3) 流路内にポリエチレングリコール(PEG)などの神経組織内で溶解する物質を注入しておくことによって、刺入時のみ硬化し、溶解後は神経組織への侵襲が少ないフレキシブルな構造に戻すことができる。4) 流路内に再生軸索を誘導することによって、神経再生型電極として使用できる。といった次世代の神経インタフェースデバイスにふさわしい様々な特長を有する多機能神経プローブの実現が期待される。

試作したプローブは、生体適合性の良好な透明な高分子であるパリレンによって金属配線層を挟み込んだ構造となっている。昨年度までは、2つのパリレン層の間に封入したレジストを溶解させることによって流路を形成していたが、パリレン層同士の接着強度の不足のため、薬液注入時に液圧に耐えられず、流路が破損しやすいという問題があった。そこで今年度は、2つのパリレン層に圧をかけた状態で電気炉に入れ160℃程度の高温にすることで、接着強度を飛躍的に向上させることに成功した。これによって薬液の安定注入を実現することができた。

今後さらに、薬液注入による神経細胞の応答の観察や多チャンネル化、そして神経再生電極としての性能評価などを行っていく予定である。

3 ラットカーシステムの開発

生体の神経系と外部機器との直接の情報入出力を行うシステムの実証システムの一例として、

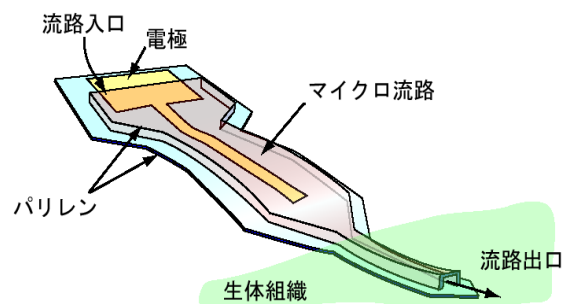


図5：流路を備えたフレキシブル神経プローブの概念図

昨年度に引き続き、ラットカーシステムの開発を行った。このシステムは、ラット運動野から計測した多チャンネル神経信号によって、ラット自身の乗った車両の制御を行うものであり、自身の四肢と同様に思い通りに動かせる義肢や車椅子への応用を目指すものである。

今年度は、ラットが1次元の歩行を行う際の神経信号を計測し、その信号から歩行速度を推定することをまず試みた。各電極からの計測信号を波形によってある程度弁別してユニット毎の発火頻度を求め、その線形和の係数を調整するという単純なモデルではあるが、歩行速度をある程度推定できることを示した。1次元という制限下ではあるものの、ラットカーをオンラインで制御できることを実証した。

4 まとめ・今後の展望

実世界感覚情報の遠隔再構築とその医療応用を実現するためのキーテクノロジーの中で、特に感覚情報の拡大縮小技術に関連してアシストデバイスの開発を、そして、生体と機械系で情報空間を共有するための神経インタフェース技術に関しては、流路を備えた多機能神経プローブの改良およびラットカーシステムの開発を行った。今後、実世界感覚情報取得のためのセンサ技術とも統合する形で、研究を進めていく予定である。