

筋電位分布を計測する柔軟デバイス

Flexible Device for EMG Pattern Measurement

准 牧野 泰才 (東大) 小川 修平 (東大) 正 篠田 裕之 (東大)

Yasutoshi MAKINO, The University of Tokyo, yasutoc@alab.t.u-tokyo.ac.jp
Shuhei OGAWA, The University of Tokyo, ogawa@alab.t.u-tokyo.ac.jp
Hiroyuki SHINODA, The University of Tokyo, shino@alab.t.u-tokyo.ac.jp

In our previous papers, we proposed a new haptic interface that detects electromyography (EMG) on a forearm. EMG sensors were arranged onto a flexible and stretchable sheet. The sheet we used here was the “Two Dimensional Communication (2DC) sheet” that enables the sensors touching it to communicate with each other without any wires. Electrical power can also be supplied through the sheet. Thus we can easily arrange the sensors densely onto the sheet for obtaining two dimensional EMG signal patterns. They are supposed to be useful for estimation of fingers or wrist motions. In this paper, we show an effective connector for the 2DC sheet. We demonstrate simulation and experimental results.

Key Words: Two-Dimensional Communication, Haptic interface, Electromyography.

1. はじめに

手指の動作推定は、触力覚提示デバイスによるリアルな感覚表現のための、重要な要素と考えられる。これまでに我々は、筋電計測を利用した新しいハプティックインタフェースを提案してきた[1]。筋電とは筋収縮に伴って生じる電気パルスである。経皮的に観測することができ、また実際の動作よりも早く計測されるため、非侵襲かつ簡便に、動作の予測が可能になる。特に手指の動作のほとんどは、前腕部分の筋収縮により実現されるため、前腕部に筋電計測センサを2次元的に配置することで、手指の拘束無く、その動作を推定できる。筋電信号の強度は筋肉の活動度に対応することも知られている。すなわち、物体を把持しているような場合に、その把持力などを推定することも可能になると考えられる。このような特長により、触力覚情報を取得するセンサとしての利用が期待される。手指の動作によるコマンド入力に基づく新しいマン・マシンインタフェースとしての応用も見込まれる。

精密な動作推定には、多点での計測が望まれる。しかし、前腕部にセンサを多数配置した場合には、それに伴って配線も増加し、手腕の動作が拘束されてしまう。限られた計測点で詳細な動作推定を行うには、センサ配置の厳密な初期位置合わせも要求されるため、日常的な使用には適さない。先行研究においては、リハビリテーションといった複雑な装置の装着が許容されるようなシーンでの利用など、ある程度用途が限られていた。本研究では、計測装置の快適な着脱を可能とする、日常的に利用可能なシステムの実現を目指す。

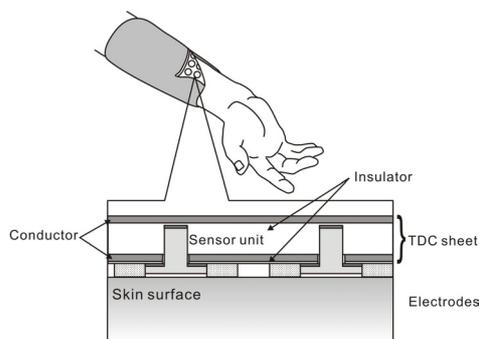


Fig. 1 Schematic diagram of the wristband-shaped electrode array for electromyography [1].

図1は、我々が提案してきたリストバンド型の筋電計測システムの模式図である。リストバンドの上に筋電計測用のセンサを配置し、各ユニットに個別に配線する替わりに“2次元通信シート”を用いる。ここで“2次元通信”とは、2次元的な面内にマイクロ波を伝搬させ、その面内に配置されたセンサ素子により通信・給電を実現する技術である[2]。煩雑な配線を必要としないため、簡便に着脱可能なシステムの実現が期待される。

これまでに我々は、2次元通信シートによる筋電計測センサアレイの実現法を示してきた[3]。提案手法では、2次元通信シートを用いることでセンサ素子をフロート状態で駆動できるため、コモンモードノイズの影響を受けにくいことを示した。これは筋電信号のような微弱な電位変化を計測する際には、大きなメリットとなる。

本稿では、シートとセンサとを効率的に結合するためのコネクタを提案する。従来提案した共鳴近接コネクタ[4]とは異なる共振モードに結合することで、より安定した電力の取得、信号の送受信を実現する。本稿で提案する新しいコネクタと、時分割多重化法を利用することで、複数チャンネルによるシートを介した給電、及び筋電信号の送信が単一シートで実現されることを示す。

2. 近接共鳴コネクタ

2.1 原理

我々はこれまでに、シートとの効率的な接続を可能とするコネクタとして“近接共鳴コネクタ”を提案してきた[4]。このコネクタは、シート内を伝搬する電磁波長の4分の1の長さを持つ電極により実現される。4分の1波長の電極はシートに近接させた場合、共振が生じることによりシートとコネクタとの間があたかも短絡しているかのようにみなすことができる。これにより、シートとコネクタとが電気的な接点を持たなくても、両者を安定して接続可能になる。センサユニットとシートとの間に、電気的接点を必要としないため、シートの柔軟性を保ったまま、センサユニットを配置できるというメリットを持つ。

この近接共鳴コネクタにおいては、シートの厚み方向の変形に対し、接続状況が変動しにくいということを目的として設計を行った。しかし実際には、シートの変形に対応して、

接続状況が大きく変動していた。許容される厚さ変動は1mm程度であり、それ以上大きな変動が生じた場合には、シートとコネクタの間の放射インピーダンスのリアクタンス成分が大きく変動し、通信及び給電の実現が困難であった。

本稿で我々は、新しい近接共鳴コネクタを提案する。図2にその写真を示す。4本の細いワイヤ電極が四方に伸びた形状を持つ。このとき各ワイヤの長さは4分の1波長となっている。このコネクタは、図3のような形でシート内に設置する。なお、紙面に垂直な方向に伸びた2本のワイヤはここでは表示していない。

提案するコネクタの動作原理を示すため、図4に示すような2次元的なI字型モデルを考える。2本の電極がx方向にのみ張り出すような構造を持つ。ここでまず、波動がx方向にのみ伝搬している場合を考える。従来の共鳴近接コネクタとの違いは、2本の電極が真っ直ぐ逆向きに張り出しているという点である。これまでは同じ方向に張り出しており、またコネクタサイズを小さくするために電極をカーブさせて利用していた。このように2本の電極が逆向きに張り出している場合、以下に示すような2種類の共振モードに対してコネクタが接続することがわかる。

1つめのモードは、これまで我々が提案してきた、図5(a)に示す等価回路で表される接続である。この場合、センサが電極の根本部分でシートと短絡しているようにみなせることを我々は示してきた。このモードにおいては対称性から、コネクタを中心とし2次元的に等方的に伝搬するモードの波動と接続する。本稿ではこのモードを“モードA”と呼ぶ。

もう一方のモードは方向性を持ったモードである(図5(b))。マイクロ波がx方向に伝搬している場合、2本の電極長が半波長であるから、図に示すように電極の両端を開放端とする共振モードが生じる。一方、紙面に垂直なy方向に沿って伝搬する波動に対しては、共振が生じない。つまり今回提案するコネクタは、電極の伸びた方向に沿って伝搬する波動に対して選択的に接続する、方向性を持ったコネクタとなっている。この方向性モードを“モードB”と呼ぶ。モードBの共振現象の1つの特長は、その共振周波数がトータルの電極長にのみ依存するという点である。電極長はシートの厚み変形にほとんど依らないため、このモードへの結合は、シートの変形に依存しにくい。たとえシートの厚さ変動に伴ってモードAの接続状況が悪化するような場合でも、モードBの接続状況は変化しにくいので、安定した動作が期待できる。

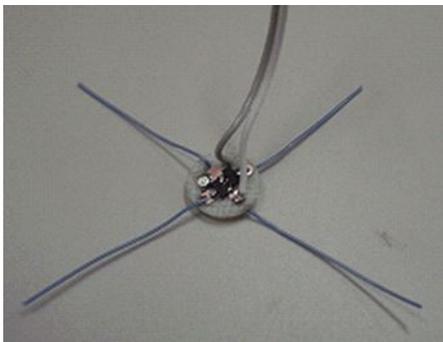


Fig. 2 . The new connector having four thin electrodes.

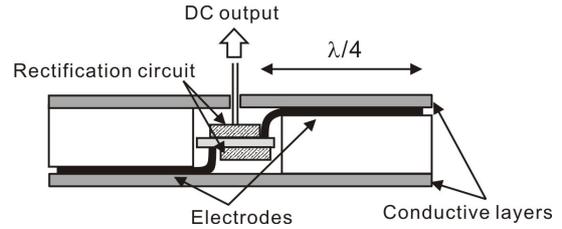


Fig. 3 . Cross section of the new connector.

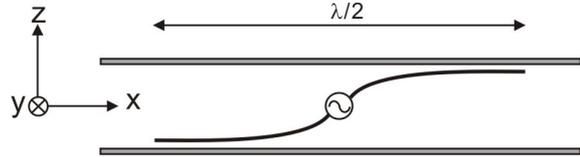


Fig. 4 Two-electrodes-based (I-shaped) model of the new connector

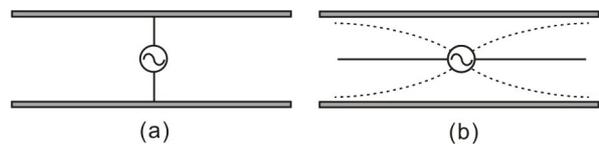


Fig.5 Two modes of the resonance on the connector. (a): Isotropic mode, (b): Directional mode.

今回提案するコネクタの方向性は、モードAとモードBの方向特性の重ね合わせとして表現できる。一方、従来の共鳴近接コネクタは、このうちのモードAとのみ接続可能なコネクタであり、モードBとの接続は使用していなかった。

2つのI字型コネクタを直交させるように配置し、整流した後に直列接続することで、全方位から電力を取得できるようになると期待される。図2に示した4本の電極を持つコネクタ(十字型コネクタ)は、このタイプの全方位型コネクタである。

2.2 シミュレーション

図6にシミュレーション結果を示す。方向性を確認するために、シミュレーションではI字型のコネクタをモデル化した。図はマイクロ波をコネクタよりシート内に印加した際の、2層の導電層の中間地点における、ある瞬間の電界強度の分布を示したものである。図より、波動がシート内を2次元的に伝搬する様子が確認された。

図7(a)は時間平均をとった電界強度分布であり、図7(b)は(a)の円周上における数値をプロットしたものである。0°の方向に大きな方向性を持つことが確認された。

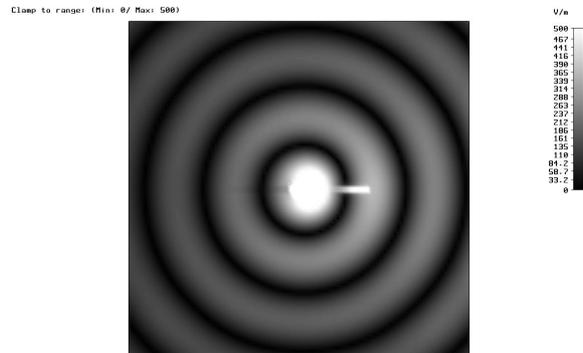
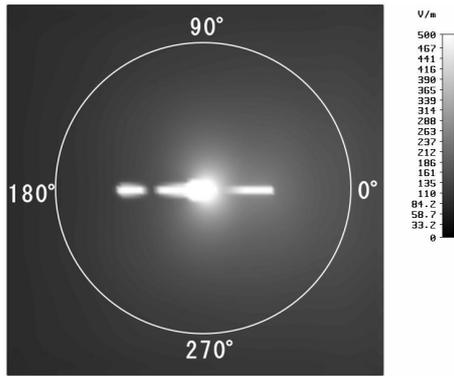
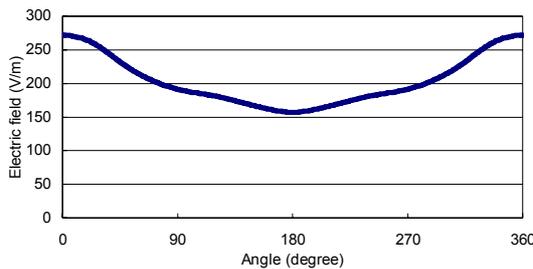


Fig.6 Simulation result of the new connector.



(a)



(b)

Fig.7 (a): Averaged electric field of Fig. 6. (b): the numerical data on the circle in (a)

2.3 比較実験

実験により原理の検証を行った。図 8 は実験で用いた柔軟な 2 次元通信シートである。導電性の布を用いて実現されており、表面を絶縁体の布で覆ってある。接続用の開口が 9 ヶ所あり、その開口を経由してコネクタをシート内に設置する。今回我々は、新しく提案する“十字型のコネクタ”、方向性を持った“I 字型のコネクタ”、及び“従来のコネクタ”の 3 種類のコネクタを利用し、各開口部において取得される電力を比較した。

10W のマイクロ波をシート端部から印加したときに取得された電力を図 9 に示す。横軸が開口の位置を、縦軸が取得された電力を表す。ここで縦軸は対数で表示されている。グラフより、十字型コネクタが 6 以外の全ての位置で、他の 2 つのコネクタの性能を上回っていることが分かる。取得された平均の電力は、十字型コネクタで 577mW、I 字型で 243mW、従来のコネクタで 8mW であった。この結果より、従来考慮されていなかった、方向性を持つ波動(モード B)に結合する有用性が示された。

図 10 にシートの厚み方向の変動と取得電力の関係を示す。実験では、シート内にコネクタを配置し、その上部を平面で押し込み、取得される電力を測定した。横軸が無負荷時からの押し込み変位を、縦軸が取得された電力を示す。計測箇所は 1 点であり①に対応する。平均取得電力は、十字型コネクタで 256mW であったのに対し、従来のコネクタでは 23.6mW であった。ここで、平均取得電力に対する取得電力の変動の比率を考えると、今回提案する十字型コネクタの方が従来のコネクタよりも小さく、厚み変動に依存せず、安定した接続が実現されることを確認した。



Fig.8 Textile 2DC sheet. Each number denotes the position.

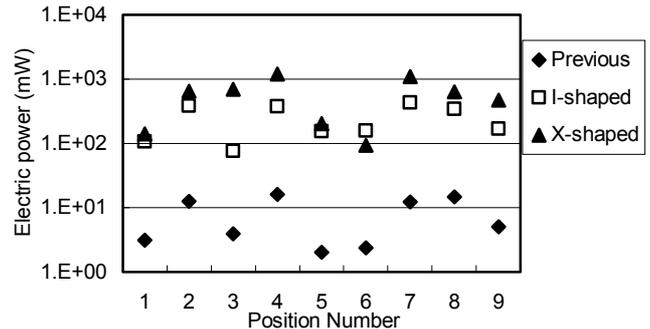


Fig.9 Received electric power with three types of connectors.

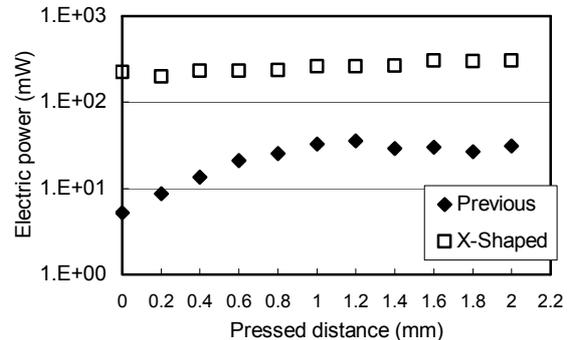


Fig.10 Received electric power depending on the sheet deformation.

3. 時分割多重化法による筋電信号の伝送

マイクロ波による給電、及び信号の送受信を実現するための方法として、我々は時分割多重化法による手法を採用している[5]。これは、図 11 に示すように、給電のための信号を送信するフェーズと、各センサユニットから筋電に対応する信号を送信するフェーズとを時間的に分割して実現するというものである。センサユニットは給電信号の立ち下がりを検出し、各ユニットに与えられた特定の待ち時間の後に、信号を送信するという機能をもつ。

この機能をもつ試作機を、図 8 の柔軟なシート上に実装し、実験を行った。図 12 が 2 チャンネルのデータを復調した結果である。横軸が時間を、縦軸が復調された信号の電圧を示す。電極は、橈側手根屈筋と総指伸筋の直上に配置し、手首の屈曲と伸展を 2 秒程度の間隔で交互に繰り返した。上図 Channel A が橈側手根屈筋、下図 Channel B が総指伸筋にそれぞれ対応する。手首の屈曲動作に対応して Channel A が、伸展動作に対

応して Channel B がそれぞれ発火する様子が計測された。また、屈筋が反応している際には伸筋は反応せず、伸筋が反応している際には屈筋が発火しないことも観測された。試作システムにおいては 2 チャンネルであるが、今後は多チャンネルのセンサ素子を 2 次元的に配置し、より詳細な動作推定を行う。

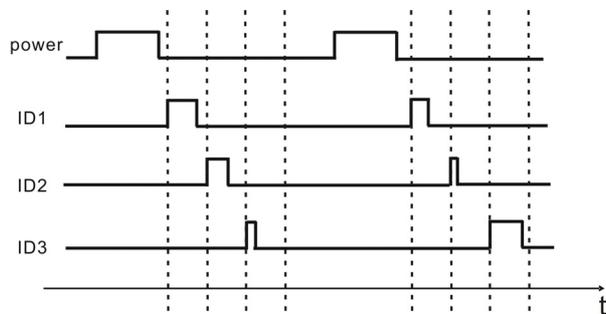


Fig. 11 Time diagram of the time division multiplexing method. The lateral axis indicates the time. Each sensor has a different delay to the falling edge of the power signal.

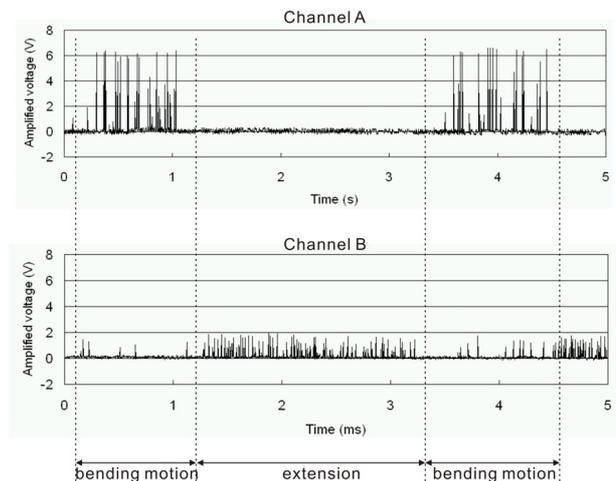


Fig. 12 Demodulated EMG signals. The upper graph shows the result relating to bending motions of the wrist. The lower graph shows the result relating to extensions of the wrist.

4. まとめ

先行研究において我々は、新しいハプティックインタフェースを提案してきた。前腕部の筋電位を 2 次元的な分布として計測することで手指の動作推定を行う。手指を拘束することなく、その動作が推定できるため、動作によるコマンド入力を実現するマン・マシンインタフェースとしての応用や、触力覚提示システムのための位置・姿勢推定などへの利用が期待される。これを実現するための重要な技術が“2 次元通信”である。多数の筋電センサを駆動する際に、各センサへの個別配線が必要無く、柔軟シートの上に配置するだけで、給電・通信が実現される。

本稿では、2 次元通信シートとセンサ素子との間の安定した接続を実現するコネクタを提案した。これまでも我々は、“共鳴近接コネクタ”というコネクタを提案してきたが、シートの変形に対してその接続状況が変わってしまうという問題があった。そこでこれを改良し、従来考慮されていなかった

共振のモードへも結合可能な新しいコネクタを提案した。提案手法により、従来のコネクタの 10 倍程度の電力が取得できることを実験で確認した。

時分割多重化法を実装したシステムを試作し、2 チャンネルのセンサユニットへの給電及び筋電信号の送受信を、シートを介して実現した。屈筋と伸筋の上に電極を貼付し、それぞれ屈曲と伸展に対応する動作を観測した。より多くのチャンネルによる信号の送受信、及びそれら信号を元にした動作推定が今後の課題である。

文 献

- [1] Y. Makino, A. Okada, and H. Shinoda: “Measuring Myoelectric Potential Patterns Based on Two-Dimensional Signal Transmission Technology,” Proc. SICE Annual Conference 2006, pp.2005-2009 (2006)
- [2] Y. Makino, K. Minamizawa and H. Shinoda: “Two Dimensional Communication Technology for Networked Sensing System,” Proc. International Workshop on Networked Sensing Systems (INSS) 2005, pp. 168-173 (2005)
- [3] 牧野泰才, 篠田裕之: “筋電分布計測によるハプティックインタフェース,” 第 7 回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SICE SI), pp.492-493, 2006.
- [4] Y. Makino, H. Chigusa and H. Shinoda, “Two-Dimensional Sensor Integration Using Resonant Proximity Connector –Basic Technology and Application to Elastic Interface Device,” International Workshop on Networked Sensing Systems (INSS) 2006, pp. 196-202 (2006)
- [5] Yasutoshi Makino and Hiroyuki Shinoda: Myoelectric Pattern Measurement Based on Two-Dimensional Communication Technology, Proc. SICE Annual Conf. 2007, pp. 2145-2149, 2007.