

テレグジスタンスの実現に向けた本格研究 触覚提示に基づくヒューマノイドの遠隔臨場制御

ロボットを用いたテレグジスタンス

近年、ヒューマノイドロボットの高性能化が進み、世界中のさまざまな場所にそのようなヒューマノイドロボットを配置して、それらを遠隔地からネットワークを介して操作するという「テレグジスタンス」の研究も大きな進展を見せています。この研究では、このようなロボットのマスター・スレーブ制御に利用されるマスター装置として、ロボット操作者の指先や手先のみならず、より広範囲にわたる有毛部皮膚にも触覚を提示できる機械式触覚ディスプレイを開発し、それがロボットアームの制御に使用できることをさまざまな実験で確認しました。さらに、その触覚ディスプレイの提示する触覚と、ノイズを加えた視覚とを比較することにより、人間の中枢神経系における視触覚情報処理の体系を定量的に解析する手法を新たに開発し、それによって有毛部皮膚における触覚を可視化する技術を考案しました。

人間の中枢神経系における視触覚情報処理

触覚を効果的に提示できる触覚ディスプレイを製作するために、この研究では、図1に示すように視覚情報にノイズを加え、減衰させた視覚情報を視覚ディスプレイにより被験者に提示

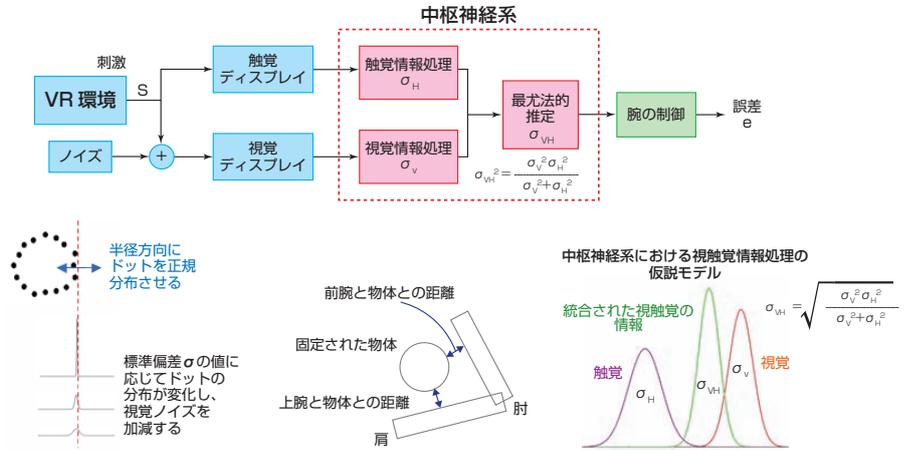


図1 人間の中枢神経系における視触覚情報処理

し、製作した触覚ディスプレイにより提示される触覚情報と比較することで、人間の中枢神経系における視触覚情報の統合的処理体系を定量的に解析します。それにより触覚ディスプレイに要求される仕様を決定するという方式を採りました。

指先の触覚を刺激する場合には、「視覚情報 σ_V と触覚情報 σ_H とが中枢神経系で最尤法的に統合されている」というのが先行研究により通説となっています (図1のブロック図)。この研究では、CGで構成したVR空間に配置した円柱状の物体の外郭上に複数の

ドットを配置し、そのドットを半径方向に正規分布に従いランダムに移動させるという方式で視覚情報にノイズを加えました。その条件の下でロボットアームの有毛部で固定された物体を把持するという実験を行い、腕の有毛部でも、この中枢神経系における視触覚情報の統合的処理に関する通説が成り立つかどうかを確認しました。また、触覚情報 σ_H と統計的に釣り合う「減衰された」視覚情報 σ_V の精度から、触覚ディスプレイに要求される最適な解像度を求めました。

この実験において、物体を把持する作業の精度は、図1のように物体とロボットアームの各部分 (前腕・上腕) との距離として定義し、この距離の値の標準偏差を、視覚・触覚それぞれの情報処理の体系を解析するために用いました。

触覚ディスプレイの試作とそれに求められる最適な仕様

図1に示した理論を確認するために、図2の写真のような触覚ディスプレイを試作し、それを用いてVR空間のマスターロボットアームを操作するマス



2005年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。
2006年より日本学術振興会特別研究員 (PD) として産総研 日仏ロボット工学共同研究ラボに所属。
2006年9月～2008年2月まで、米国ハーバード大学客員研究員。

博士課程在学時から、ヒューマノイドをネットワークを介して遠隔制御する技術であるテレグジスタンスの研究に従事しており、ロボットの触覚を操作者にフィードバックする技術に特に力を入れています。

多田隈 理一郎 (ただくま りいちろう)
知能システム研究部門
自律行動制御研究グループ

ター・スレーブ実験を行いました。触覚ディスプレイを装着した被験者の腕の動作は、磁気式モーションキャプチャーによりリアルタイムに計測しました。

その結果、図2のグラフに示す通り、触覚ディスプレイを用いずに視覚のみで実験を行った場合の赤い点は横軸である視覚情報に対する1次の式として直線（桃色の線）で精度良く近似され、また触覚ディスプレイによる触覚提示により視覚・触覚両方の情報を用いて実験を行った場合（ σ_{VH} ）の青い点も、図1に示した最尤法^{さいゆうほう}の式により曲線で近似される形になりました。さらに、「視覚と触覚の情報の精度が等しく釣り合う」という条件を示す緑の線と、視覚情報のみで作業を行った場合の精度の近似直線（桃色の線）との交点は、このグラフのようにはっきりと1点で求まり、この場合のドットの分布の標準偏差が8.00 mmであることから、腕を動かして物を触るという「アクティブタッチ」における触覚の解像度も同様に8.00 mmであり、これが触覚ディスプレイに要求される最適な解像度であるとわかりました。

これまでの研究では、腕を静止させたままで物体を腕に押し付けられた場合（パッシブタッチ）の解像度（2点弁別閾^{ぶんべついき}）は40 mm程度といわれていましたが、腕を動かして物に触るとこの5倍程度に解像度が高まるということになります。また、今回利用したドットを用いた視覚ノイズの手法は、図2に示すように、視覚情報と比較して触覚情報の解像度を求め、身体の各部分における皮膚の触覚の解像度をランダムに分布するドットにより「可視化」する技術として応用できるものと考えています。

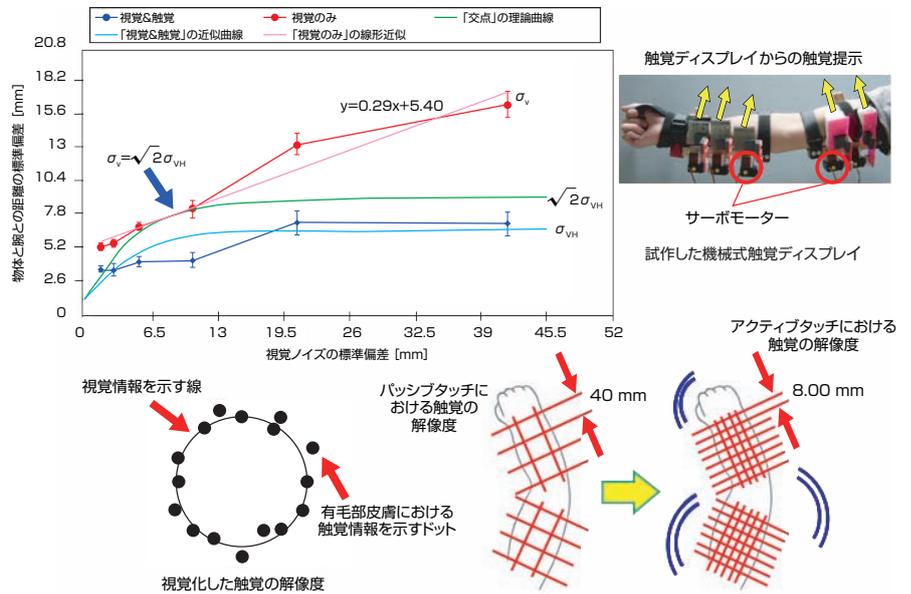


図2 触覚ディスプレイにより求められる有毛部皮膚の触覚の解像度

将来のテレグジスタンス

今回の研究により、有毛部皮膚における触覚を再現する触覚ディスプレイに求められる解像度が明らかとなったため、この8.00 mmという解像度を実現する新たな触覚ディスプレイを製作中です。これを用いれば、図3のようにヒューマノイドロボットを遠隔操作するとき、ロボット

が大きなものを全身で抱え込んだり、ドアを通過するとき腕でドアを押し開けるといった動作を行う際にも、安全かつ高精度に動作させることができます。このようなヒューマノイドロボットは、必ずや人間の生活空間において、人間と接点を持ち、共存できる対人親和性の高い「柔らかい」ロボットになることでしょう。

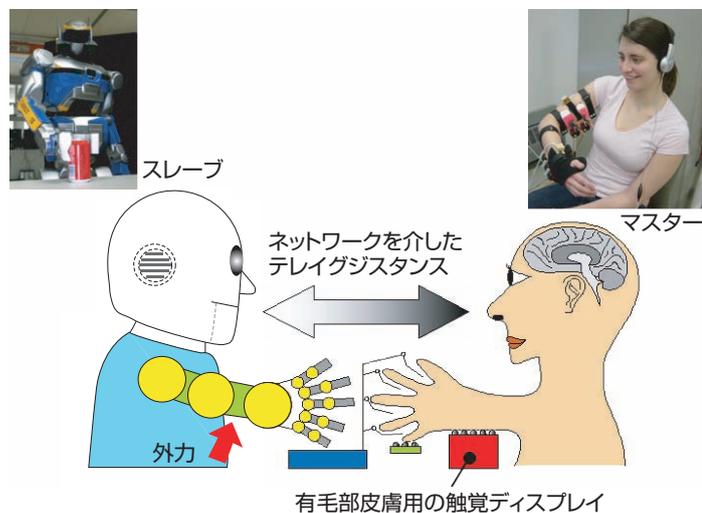


図3 将来のテレグジスタンス