



ティング手法の中から多層パーセプトロンを適用する。この多層パーセプトロンの学習には誤差逆伝播法を用いる。このアルゴリズムの学習データを得るため、実験システムを構成して、実験システムにより本制御方式の妥当性の確認を行う。

本論文の前半と後半では、それぞれ触覚センサと触覚ディスプレイの研究について述べる。まず、触覚センサの研究では、CT法を原理として、触覚センサ向きに改良した応用アルゴリズムを提案した。このアルゴリズムの解法として、ART (Algebraic Reconstruction Technique) 法と線形代数方程式解法の一つであるLUD法の二種類を提案した。また、CT法を適用するための新しいセンサ構造を考案した。アルゴリズムの妥当性を検討するために数値シミュレーションを行った。実験内容は単連結・多連結領域に分布した仮想圧力を入力データとした場合の再構成計算である。また、それぞれの解法についてノイズに対するロバスト性と計算時間の比較を行った。その結果、単連結・多連結領域として与えられた圧力分布を再構成できたことから本手法の妥当性を確認した。また、ノイズに対するロバスト性および計算時間の比較結果から、ART法よりもLUD法のほうが優れた性能を示したので、実験システムではLUD法を採用した。

次に、上述で提案した触覚センサの妥当性を確認するため、赤外ダイオード、受光トランジスタ、黒色ゴム、アクリル板、荷重装置から構成される実験システムを構築する。黒色ゴムはアクリル板との密着性を考慮し、接触面は半球状触子になっている。この構成によるセンサ能力の妥当性を確認するため、荷重と吸収率の関係、圧力分布および重心位置の計測を行った。ゴムには非線形特性があるために、非線形な荷重と吸収率の関係が得られたものの、一対一関係にあることから吸収率から荷重を同定できることがわかった。また、構成した実験装置による検証実験の結果、触覚画像の周囲にゴーストが見受けられたが加えた荷重と圧力重心の位置がほぼ一致していることを確認した。以上の結果から本LUD法は再構成のアルゴリズムとして有効であることがわかった。

触覚ディスプレイの研究では、触覚を圧力とせん断力の複合感覚として生じさせるディスプレイ装置を開発する上でキーパーツとなる二軸アクチュエータの設計製作を行った。そのため小型単純構造のアクチュエータとして、シリアル形とパラレル形の二種類を考案・検討した。前者は、2本のバイモルフ形ピエゾ素子の動作方向が直交するように2本直列に接続したものである。後者は、2本のバイモルフ形ピエゾ素子、2本の小リンクおよび3つの関節から構成され、2本のバイモルフ形ピエゾ素子の入力電圧を逆位相にするか同位相に印加するかで水平方向と垂直方向の動きを生成する。以上の2種類アクチュエータの設計に必要な基礎式を定式化し、実験によりそれらの特性を調べて触覚ディスプレイへの適用性を検討した。シリアル形で行った基本特性(変位-電圧関係、力-変位関係)の調査結果から、x方向の最大変位量はy軸方向の50%であることがわかった。また、剛性についてはy方向のほうがx方向に比べ1/3程度であった。これらの特性は定式化された基礎式から予想できる結果であった。パラレル形では、xとy軸に沿って動作させる実験を行い、x方向とy方向の最大変位量はそれぞれ1.5[mm]と1.99[mm]であることがわかった。この値は定式化した運動学を解くことにより実行されたシミュレーション結果とよく一致した。さらに、シリアル形に比べて、パラレル形の可動範囲のほうが広く、x方向とy方向の変位量の差が小さいこともわかった。したがって、後述のニューラル制御の実験で、パラレル形のアクチュエータを研究対象とした。

最後に、製作したパラレル形二軸アクチュエータにより構成される触覚ディスプレイをセンサレス制御することを目的として、ニューラルネットワークを利用したピエゾアクチュエータの新しい制御法を確立した。本ニューラルネットワークモデルには、積分素子とフィードバック回路を含むといった構造上の特徴がある。また、本ニューラルネットワークモデルは、フィードバック回路を除いた状態で学習させることができるので、誤差逆伝播法のアルゴリズムを

そのまま適用できるという特長がある。マイナーループを含むヒステリシスループの実験を行い、その結果得られたデータを教師データとして本ニューラルネットワークの学習を行った。左右のピエゾアクチュエータのヒステリシスループには差があるため、別々の重み行列の値を求めた。その結果、マイナーループを含むヒステリシス特性を高精度に再現できることを確認した。さらに、本手法の有効性を検討するため、可動端を円形経路に沿わせる実証実験を行った。その結果、導入部分として設けた直線部分と後続の円形軌道でも 3/4 周まで計画軌道によく追従できていた。

今後本研究は、本研究で開発された新しい触覚センサをロボットの全身に装着した人間共存型のロボットの開発、並びに二軸アクチュエータから構成される触覚ディスプレイの開発などへと発展が期待される。また、人間共存型ロボットと触覚ディスプレイによりマスタ・スレーブシステムを構成することにより極限作業ロボットへの進展も期待される。さらに、本研究で初めて提案されたセンサ・アクチュエータを情報科学により高度化する研究は他のセンサ・アクチュエータにも適用が期待でき、後続研究へと進展されることも予想できる。