

福祉保健医療への応用を目指したシステム制御技術の開発

福島大学 石原 正

本研究プロジェクトでは、福祉保健医療への応用を目指した以下の研究テーマについて研究開発を行う。

- 人間の頭頸部動特性のモデル化に関する研究
- 外乱推定器の構成に関する研究
- 外乱消去型制御系の構成に関する研究

それぞれのテーマについて、現在までに得られている成果と今後の研究計画は以下の通りである。

1. 人間の頭頸部動特性のモデル化に関する研究

A. 現在までの研究成果の概要

着座した人間の頭頸部(Head-Neck Complex)の水平方向の加速度に対する動特性は、自動車や鉄道車両での乗り心地の感じ方や乗り物酔いの発症に影響を与えることが指摘されている。我々は人間の頭頸部動特性を記述するモデルとして、図 1 に示すような簡単な力学モデルを採用し、実験データからこのモデルの物理パラメータを決定するモデル化手法について報告してきた(JSME Int. J., 2003, ASME J. Biomedical Eng., 2003, Biological Cybernetics, 2004).

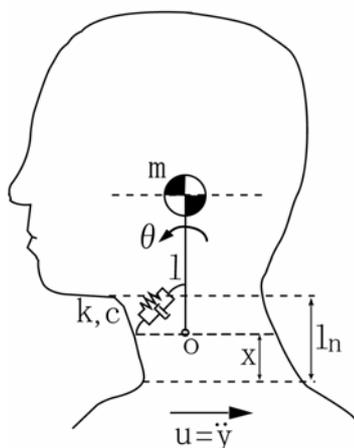


図 1. 力学モデル

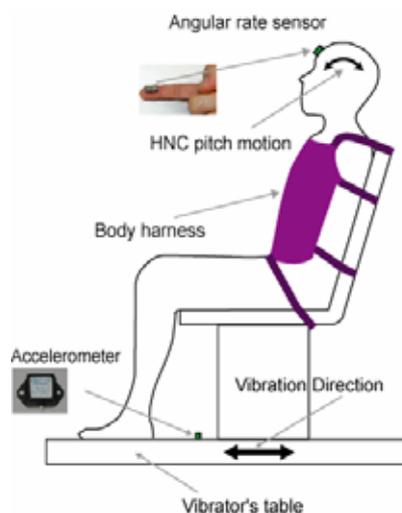


図 2. 実験装置



図 3. 実験風景

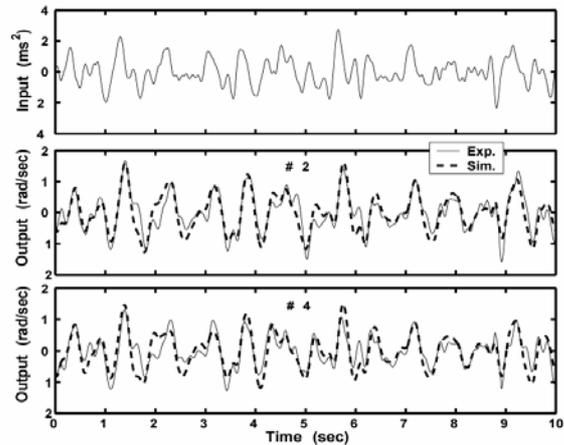


図 4. モデルの応答と実験データ

物理パラメータを決定する実験は次のように行われる．図 2 に示すように，額に角速度センサーを貼り付け，目隠しをした被験者を振動台上の椅子に固定し，振動台を加振し，振動台に貼り付けた加速度センサーと被験者の額に貼り付けた角速度センサーからの信号を記録する．図 3 に実験風景を示す．収集したデータから，Schoukens らにより開発された周波数領域同定法を用いて振動台の加速度から被験者の額の角速度までの伝達関数を求める．得られた伝達関数に対応する力学モデルの物理パラメータを数値的最適化手法により決定する．図 4 は二人の被験者に対して，実験で収集したデータと同一の加速度データに対するモデルの応答の比較を示す．モデルの応答が実験結果に十分近い結果を与えていることが確認できる．なお，図 1 の 1 自由度のモデルは加振信号の周波数帯域が 3Hz 以下に対して有効であるが，2 自由度のモデルを用いることにより，10Hz 以下の周波数帯域で有効なモデル化が可能であることが明らかにされている．

B. 本年度の研究計画

現在までに得られているモデルは人間の視覚による影響を排除して得られている．明らかに視覚は頭頸部の動的挙動に大きな影響を与える．そこで，視覚情報のフィードバックが頭頸部の動特性に与える影響を明らかにするための実験設定を考案し，データ収集を行った．このデータを用いて視覚情報のフィードバックにより，頭頸部の動特性がどのように改変されるかを明らかにすることが，本年度の課題である．

2. 外乱推定器の構成に関する研究

A. 現在までの研究成果の概要

近年，加速度センサーを始めとして，種々のセンサーが容易に利用であり，数多くの応用例が報告されている．これらのセンサーの応用では，しばしば，センサー信号から直接得られる物理量そのものではなく，物理量の変化量（時間微分）を求める必要が生じる．例えば，加速度の時間微分である jerk は，エレベータや車両の乗り心地を評価するために

重要な情報を与えることは良く知られている。従来、このような変化量はセンサーから得られる実データから適当な方法でノイズを除去した後、数値的な微分を行うことにより求められてきた。この手法は場当たりのであり、所望の結果を得るために多くのパラメータを試行錯誤的に決定せざるを得ない場合も多い。また、この手法では実時間で変化量の推定を行うことは困難である。

そこで、最適推定論の立場から、変化量の実時間推定についてシステム論的考察を行い、変化量を推定するための実時間アルゴリズムとその推定誤差について考察を行った (Int. J. Applied Electromagnetics and Mechanics, 2003)

B. 本年度の研究計画

変化量の実時間推定問題は動的システムに対する未知外乱入力を観測可能な出力から推定する問題に帰着される。そこで、変化量の実時間推定を特別な場合として含むより一般的な未知外乱推定器の構成とその実システムへの応用について考察する。

3. 外乱消去型制御系の構成に関する研究

A. 現在までの研究成果の概要

外乱消去手法を用いることにより、外乱モデルを含むコントローラを設計できることは良く知られているが、この設計問題は標準的な H_2/H_∞ 最適制御問題として定式化することができない特異な問題である。我々はこのような制御系の設計法として特異 LTR 手法と呼ぶべき新しい設計法を提案している (計測自動制御学会論文集, 1996)。この設計手法は外乱除去を主目的とする制御系を設計するために適した手法と言える。

B. 本年度の研究計画

特異 LTR 手法による外乱消去型制御系の設計法をより一般的な制御対象 (非最少位相系、むだ時間系等) に拡張する。また、特異 LTR 手法と適合制御系の設計手法を融合した新しい設計法の開発を試みる。このような設計法が開発されれば、従来設計段階で陽に考慮することが困難であった性能指標 (例えば jerk) を直接的に反映できる制御系設計を行うことが可能となる。このことは、例えば、患者に過度の負担を与えない搬送システムや様々な人間支援システムを合理的に構築できることを意味する。