

ヒトの運動制御にもとづいた制御システム系 (第 2 報) ～ 視覚追従実験におけるモデル方程式の構築に向けて～

佐瀬一弥^{1,2}, 林叔克^{2,3}, 沢田康次³, 菅原研⁴
 東北大学工学部¹, NPO 法人 natural science²,
 東北工業大学³, 東北学院大学教養学部情報科学科⁴

The System of Control Based on Visual Motor-System

Tohoku University¹, natural science NPO², Tohoku Institute of Technology³, Tohoku Gakuin University⁴

1 はじめに

1.1 背景

スポーツや楽器の演奏などヒトはとても複雑な運動制御を実現する。ありふれた動作を例にあげても、それを実現するためには複雑な制御アルゴリズムが必要になる。それぞれの動作の目的達成のための制御方法はコンピュータなどにより、ほとんど実現できるだろう。しかし、ヒトが微積分や行列計算などの複雑な計算を絶えず行うことは可能だろうか。ヒトの神経系における単位信号伝達速度である神経伝達速度は、コンピュータの信号伝達速度に比べて遅い。神経細胞の集合による並列処理が複雑な機能を実現させる可能性も考えられるが、多くの制御アルゴリズムのひとつひとつに対応する機能を持つと仮定すれば機能は細分化するばかりであり、現実的ではない。

そこで、我々はヒトを刺激に対して応答するブラックボックスとみなし、実験の結果を統計的に処理し、現象論的にヒトの認識に基づく運動制御を解析する手法をとる。このような、アプローチの研究では、単純な周期運動をする対象を手でトラッキングする場合に、対象よりもわずかに先行するように制御するという先行性が知られている。[1] この性質は、対象の予想外な運動の変化に適應して、位置誤差を小さくするなど運動制御において有意義な役割を果たしている。このような性質が現れる原因となる新たな認識メカニズムの確立が、今後のヒトの認識に関する研究の課題である。本研究では、視覚追従実験の結果をもとにヒトが運動する対象を追従制御するさいの制御システムを構築することを目的とする。

1.2 視覚追従実験

視覚追従実験とは、視覚刺激に対する運動を測定する実験である。コンピュータでスクリーンに赤と青の二つの質点を映写する。赤の質点を target と呼び、プログラム通りに運動させる。青の質点を tracer と呼び、被験者の動かすマウスに同期して動くようにする。被験者には target に tracer をできるだけ正確に合わせるといった課題を与える。実験中の target と tracer の位置を測定し解析する。図 1 に、実験系の概略図を示す。実験は暗室で行い、横幅 3m のスクリーンにプロジェクターで赤と青の円 (直径約 5[cm]) を映し出す。

1.3 等速直線運動する場合

target が等速直線運動する場合における視覚追従実験では、図 2 に示すように、tracer の target に対する相対速度のフーリエ変換から 1[Hz] 付近にブロードなピークがたつことがわかっていて、この結果から、ヒトはおよそ 1 秒周期で位置を補正していると考えられる。

1.4 背景による影響

前述の暗室における実験は target と tracer の位置しか視覚情報として扱えない、非現実的な条件設定であった。しかし、我々が視覚情報を扱う時は対象だけでなく背景も重要な情報として扱われているはずである。そこで、実験条件として背景を設定し、その場合にヒトの運動制御はどのようになるかを調査する。

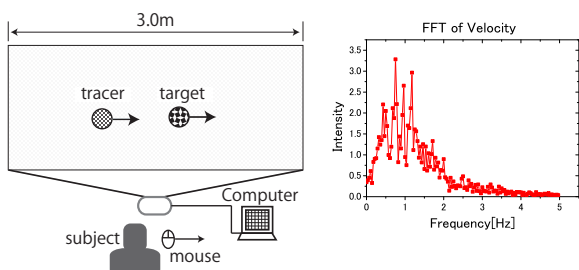


図 2: 相対速度のフーリエ変換

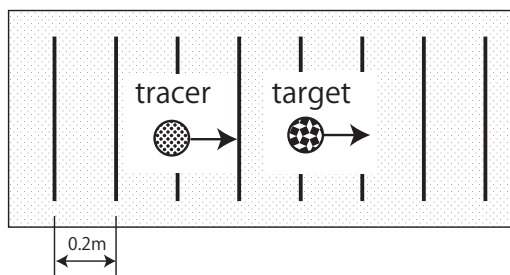


図 3: 背景のある場合の画面の例

図 1: 実験系の概略図

2 目的

視覚追従実験を行い、背景がある場合の運動制御の特徴を調べる。

3 実験手法

背景のない場合の視覚追従実験と同じ実験環境で実験系を設定する。スクリーンには、赤の質点 (target) と青の質点 (tracer) に加えて等間隔に複数の鉛直な線を映写する。図3にスクリーンに移される画像の例を示す。

線の幅を $0.2[m]$ で固定し、速度を3段階に分けて実験する。速度は小さい順に $0.8[m/s]$ 、 $0.2[m/s]$ 、 $0.4[m/s]$ とした。実験を開始すると、左側から target がそれぞれの速度について10回ずつ実験を行う。

4 解析手法

誤差の時系列は初めの1秒を除いて運動制御の定常的な部分を抽出する。誤差の時系列から相対速度の時系列を作成し、それぞれの分布とフーリエ解析したものから考察する。

5 実験結果

実験条件が、target の速度 $8.0 \times 10^{-2}[m/s]$ 、背景がない場合の、特徴的な被験者の tracer の target に対する速度のフーリエ変換した結果を図4左に示す。target の速度が等しく、背景(線の幅 $0.2[m]$)がある場合の同じ被験者の結果を図4右に示す。背景がない場合は、約 $1[Hz]$ を中心としたブロードなピークが現れ

ている。一方背景がある場合は、複数のピークがみられる。これらのピークの周波数は、 $0.36[Hz]$ 、 $0.75[Hz]$ 、 $1.11[Hz]$ である。

6 考察

target は線を一定の時間間隔で横切ると考えると、target と背景の線の位置関係に周期性があるといえる。target と線が一致する1秒あたりの回数は $\frac{8.0 \times 10^{-2}[m/s]}{0.2[m]} = 0.4[Hz]$

となる。図4より、ピークの周波数は、target と線が一致するタイミングの周波数の倍数に近い値をとっていることがわかる。これは、背景の構造を手掛かりに周期的な位置誤差補正を行っているからであると考えられる。

7 まとめ

視覚追従実験においてより正確に合わせるためには、target の位置を予測して tracer を制御する必要がある。速度を知ることができれば、位置を予測することができるが、視覚情報から得られる target の位置のみでは、target の速度を知ることが困難である。そこで、ヒトの視覚情報として、より現実的な実験条件である背景がある場合の視覚追従実験を実施し背景の構造と運動制御の関係性を調べた。その結果、tracer の速度の周期性は、背景に依存した周期性をもつことがあることがわかった。このことから、規則的な背景がある場合には、ヒトは背景の中から目印を選び出し、運動するターゲットがそこに到達する時間間隔によりターゲットの平均的な速さを知覚しているのではないかと考える。

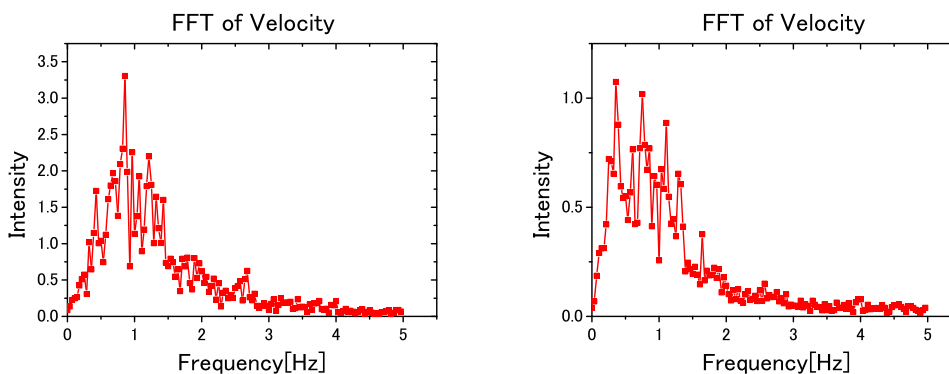


図4: 速度のフーリエ変換 左:背景がない場合 右:背景がある場合

参考文献

- [1] F. Ishida and Y. Sawada R Phys. ReV. Lett. **93**,168105