

相互手動追従モデルにおけるリズムの効果

An effect of the rhythm in a mutual hand tracking model

○大里 司*, 高地 康宏*, 沢田 康次*

○Tsukasa Osato*, Yasuhiro Takachi*, Yasuji Sawada*

*東北工業大学

*Tohoku Institute of Technology

キーワード: コミュニケーション(Communication), 相互追従(Mutual Hand Tracking),
リズム(Rhythm), 視覚—運動モデル(visual-motor Model),
相互相関(Cross correlation)

連絡先: 〒982-8577 宮城県仙台市太白区八木山香澄町 35-1 東北工業大学
情報通信工学科 沢田研究室 大里 司
Tel.: 022-229-1151 (内) 503, E-mail: mellow@titan.ocn.ne.jp

1. はじめに

現代のコンピュータ技術の発達により我々の身のまわりにはたくさんのコンピュータが溢れ、我々の生活により身近なものになってきている。インターネットや電子メールなども普及し、人間と人間が直接会わなくとも手軽に情報伝達を図ることができるようにもなった。そしてこれからの時代は今まで以上にコンピュータが我々の生活に密接に関わってくると考えられる。よって、コミュニケーションの形態が人間と人間だけでなく、人間とコンピュータまたはコンピュータを介しての人間と人間にも成立すると言えるであろう。

その中で人間とコンピュータがうまく付き合っていくためには、人間と人間のような

滑らかな関係を作ることが必要である。今までの人間とコンピュータの関係は人間からコンピュータへ命令し、それをコンピュータが実行するという一方的な関係であった。それでもコミュニケーションは成立していたが、人間のみが先行していて対等な関係とは言えなかった。

我々の行っているコミュニケーションを考えたときに、一方が先行することもあるれば、もう一方が先行することもあるという対等的な形態が一般的である。

そこで、どのような特性をモデルに持たせれば人間と人間のコミュニケーションのような関係になるかを検討した。

2. 本研究の目的

人間の視覚—運動系をモデル化して、そのモデルと人間が相互追従実験を行ったときに、人間と人間の追従実験で得られるような速度相関が得られるよう、すなわち人間の振る舞いに近いモデルを構築することにより、将来そのモデルを用いたロボットやマン—マシンインターフェイスを開発するための基礎的研究を行うことである。

それを実現するために我々は相互追従実験を行い、コンピュータができるだけ人間に近づくように人間が持っていると思われる運動特性の「フィードフォワード制御（予測）」、「ノイズ」、「リズム」の3つをピックアップして実験し、相互手動追従モデルにおけるリズムの効果を比較した。

この実験に先立って行われた人間同士の相互追従実験では、図4～6のような3種類の結果が得られることがわかっている。

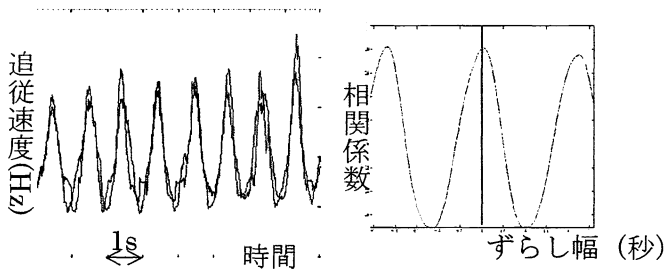


図1：追従速度時系列 図4：追従速度の相関関係

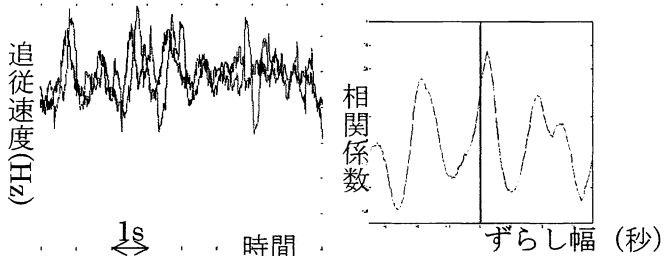


図2：追従速度時系列 図5：追従速度の相関関係

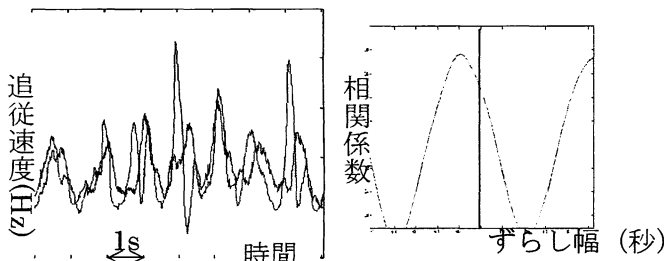


図3：追従速度時系列 図6：追従速度の相関関係

図4～6は人間同士が相互追従実験をしたときのお互いの速さ（図1～3）を相関関係で表して、頂点が0の場合（図4）は対等な関係である。0に一番近い頂点が右にずれている場合（図5）はA君が先にアクションを起こしていて、本実験では人間先行になる。左にずれている場合（図6）はB君が先にアクションを起こしていて本実験ではコンピュータ先行になる。また、赤の縦線はずらし幅の0の位置である。

3. 実験概要

3.1 実験方法

実験はMATLABでプログラミングし、ペンタブレット（ペン型マウス）を接続して行った。実験回数は実験ごとに合計60回行い、被験者は2名。

追従実験は図7のようにパソコンのスクリーン上で2次元運動する赤のターゲット（人間の特性を持たせたコンピュータの位置）を青のマウスカーソル（自分の手の位置）で追従する。ターゲットは黒の円（直径6.5cm）の軌道上を時計回りに動く。サンプリングタイムは0.03秒とする。

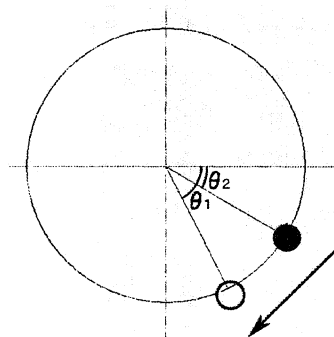


図7：実験画面

3.2 実験手順

実験は全体で30秒間行われ、スタートキー（スペース）を押してから6秒後にターゲットが動き出す。はじめはターゲットが追従

する速さの目安として周波数1[Hz]で2周動き、2周目以降にモデルの特性に切り替わり、被験者は2周目以降できるだけ正確に追従を開始する。

4. 相互追従実験

4.1 実験1：モデルにフィードバック（追従）制御とフィードフォワード（予測）制御を持たせた場合

まず実験を始めるにあたって、人間がどのような運動特性を持っているかを考えてみたとき、フィードバック（追従）制御に加えてフィードフォワード（予測）制御を持っていることがわかっている^{1) 2) 3)}。その方程式は、(1)式で表わすことができる。

$$\frac{d\theta_1(t)}{dt} = \frac{1}{\tau}(\theta_2(t-\delta) - \theta_1(t-\delta)) + \gamma \frac{d\theta_2(t-\delta)}{dt} \quad (1)$$

ここで(1)式を「モデル1」と定義する。

τ は脳からの指令が手や腕の筋肉へ反映される時間(0.1[s])、 δ は視覚情報が脳へ到達する時間(0.1[s])、 θ_1 はコンピュータの位置の角度、 θ_2 は人間の位置の角度である。

実験結果

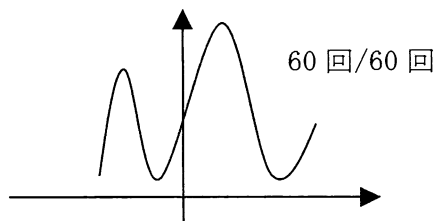


図8：人間先行の回数

60回中全ての結果で人間が先行している結果になった。フィードフォワード(予測)制御は人間の少し前のスピードを反映しての予測であり、人間がアクションを起こさない限りコンピュータは予測できないので結

局先にアクションを起こしているのは人間だったのだと考えられる。

4.2 実験2：モデル1にノイズを持たせた場合

実験1の結果を受けて予測だけでは人間の運動特性とかけ離れていることがわかった。次に我々が着目したものとして人間はコンピュータのように一定の動きを保てないことであった。それは人間の持つ手の震えや誤差などが原因と考えられる。それらをコンピュータで表現するためにノイズを使用し実験を行った。その方程式は、(2)式で表わすことができる。

$$\frac{d\theta_1(t)}{dt} = \frac{1}{\tau}(\theta_2(t-\delta) - \theta_1(t-\delta)) + \gamma \frac{d\theta_2(t-\delta)}{dt} + N(t) \quad (2)$$

ここで(2)式を「モデル2」と定義する。 $N(t)$ はノイズを表した式で、ノイズの強さはモデル2の右辺の±83%、ノイズが入らない時の時間は400~600msでランダムに決まり、ノイズが入る時間は60msである。(図9)

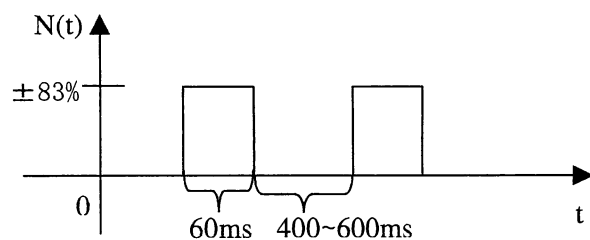


図9：ノイズが入るタイミング図

実験結果

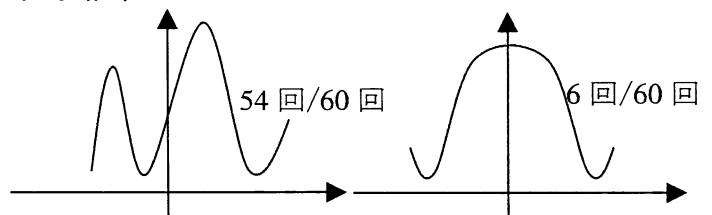


図10：人間先行の回数 図11：対等の回数

人間先行の回数が若干減り、対等な関係も少ないながらも出るようになったが、人間と人間のコミュニケーションからはかけ離れ

ていた。それは人間がノイズのような突発的な小さな変化を無視してしまうか、変化が小さすぎて反応しきれなかったためだと考えられる。よってモデル2にノイズを加えたとしても対等な関係は若干増えたがモデル1と同じような結果になってしまった。

4.3 実験3：モデル2にリズムを持たせた場合

コンピュータが一定の速度で動いているとき人間が追従しているデータを見てみると人間がリズムを持って運動していることが分かることから次に我々が着目したものはリズムであった。(図12)

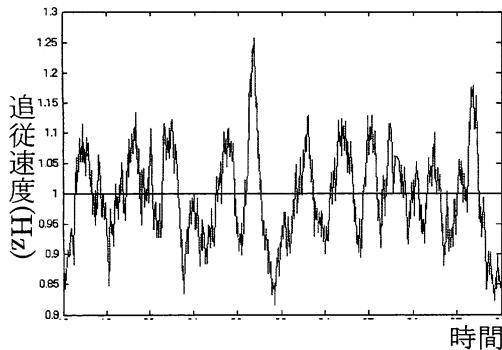


図12：一定速度で動くターゲットを人間が追従したときの追従速度時系列

その方程式は、(3)式で表わすことができる。

$$\frac{d\theta_1(t)}{dt} = \frac{1}{\tau}(\theta_2(t-\delta) - \theta_1(t-\delta)) + \gamma \frac{d\theta_2(t-\delta)}{dt} (1 + \alpha \cos \theta_1(t-\delta)) + N(t) \quad (3)$$

ここで(3)式を「モデル3」と定義する。

α はリズムの強さを表していて、 $(1 + \alpha \cos \theta_1(t-\delta))$ の式の1から $\pm \alpha$ だけ速度の振幅があるということである。今回は $\alpha = 0.5$ で実験を行った。(図13)

図14は円上のどの場所で速度変化するかを表していて、右下を通るときに速くなり、

左上を通るときに遅くなる。

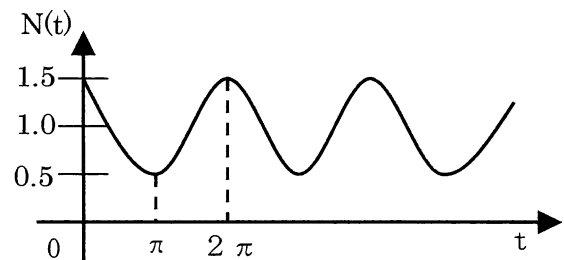


図13：リズムの速度変化図

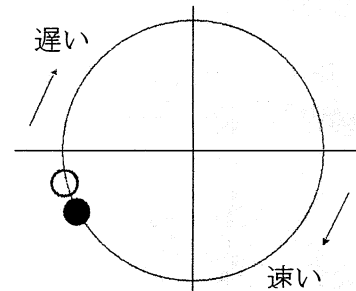


図14：リズムの速度差

実験結果

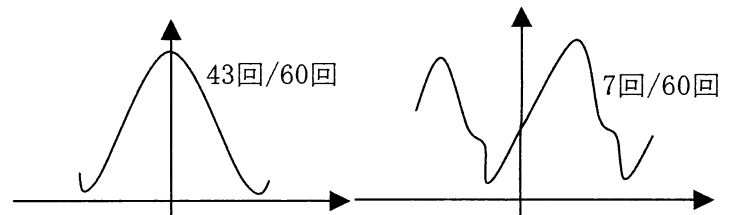


図15：対等の回数

図16：人間先行の回数

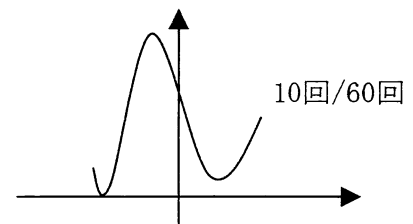


図17：コンピュータ先行の回数

モデル3では今までのモデルとは違い、人間からアクションを起こす人間先行とコンピュータからアクションを起こすコンピュータ先行の回数がほぼ同数になった。また対等な関係の回数も一番多く見られ、より人間の運動特性に近づいたと言えるであろう。

4.4 実験4：モデル3の式を使用し、リズムの強度 α の値を変化させた場合

モデル1、2は相互追従実験において人間と同様な振る舞いをするには十分効果がないということが分かった。しかし実験3でリズムを入れることにより人間と人間が相互追従実験を行ったときの結果に飛躍的に近づいた。そこでリズムの強さに重点を置き、 α （リズムの強さ）を0.1~0.9まで0.2刻みで変化させて実験を行った。

実験結果

	対等	人間先行	コンピュータ先行
0.1	3回	56回	1回
0.3	10回	42回	8回
0.5	43回	7回	10回
0.7	25回	0回	35回
0.9	12回	1回	47回

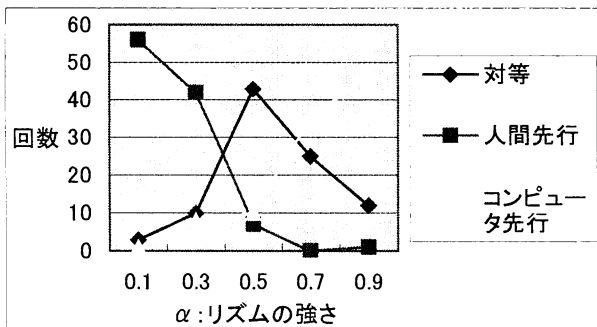


図18：コミュニケーションパターンングラフ

リズムが小さいとモデル1、2と同様に変化が小さいためあまり効果がなく人間先行の回数が多くなり、大きくなると不自然な動きになり人間がついていけなくなってしまうコンピュータ先行の回数が多くなった。よって $\alpha = 0.5$ が被験者2名の運動特性に近い値だということがわかった。

5. 結論

- 1) 人間の運動特性に似せたモデルでは、フィードフォワード（予測）制御およびノイズが含まれていても、それだけでは相互追従実験において人間と同様な振る舞いをするには十分効果がなく、リズム効果を適量入れることで人間と人間のコミュニケーションのように表れる3パターンを生み出すことがわかった。
- 2) リズムを含むモデル4と5においてリズムの強度を示すパラメーター $\alpha = 0.5$ のときに人間と人間のコミュニケーションのような関係に一番近い結果になった。

6. 考察

実験4の結果からリズムの強度 $\alpha = 0.5$ のときに人間と人間のコミュニケーションのような関係に一番近い結果になったが、そのときに人間のリズムの強度が0.5になっているか確かめるためにFFTをかけて追従速度振幅を測定した。(図19, 20)

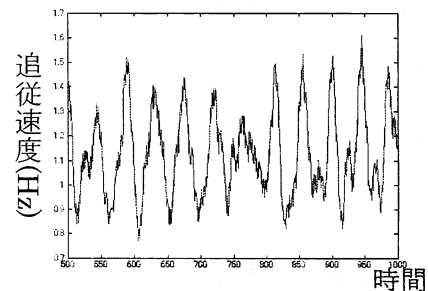


図19：追従速度時系列

↓ FFT

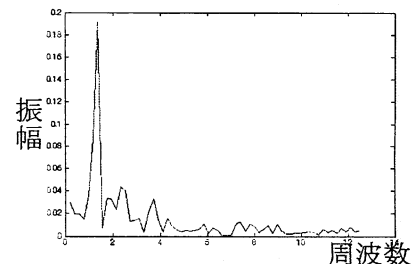


図20：フーリエ解析の結果

測定結果として追従速度振幅の実測値の平均は、約 0.2 となり、結論 2 で示した値 $\alpha = 0.5$ よりやや小さくなった。これは人間に過剰反応を抑える別なメカニズムが備わっているのではないかと考えられる。

参考文献

- 1) R. C. Miall, D. J. Weir and J. F. Stein :
Manual Hand Tracking of visual targets by
trained monkeys, Behavioral Brain Research,
20, 185/201(1986)
- 2) 石田文彦, 沢田康次 : 人の感覚運動システムにおける先行位相の定量的研究, "計測自動制御学会論文集, 39, 59/66(2003)
- 3) Yasuhiro Takachi and Yasuji Sawada : A
phase-equation model for a large phase lead in
manual tracking, Proceeding of International
Joint Couference on Neural Networks
2005, 1693/1697(2005)