

Study on Tele-existence (XI)

- Human Operator Characteristics of Three Axes Posture Control -

1. はじめに

テレイグジスタンスの実際的な利用の一つとして、遠隔作業ロボットの視覚センサとマニピュレータを介してのオペレータによる臨場的な操作があげられる。こういった提示・操作系におけるヒューマンオペレータの応答特性を知ることは、遠隔臨場制御を行う系の設計・評価において重要である。本報告では三次元空間における姿勢制御を行う際の動特性を両眼立体視と多軸姿勢入力装置を用いた追従実験によって評価し、併せて提示・操作系の評価を行う。

2. 実験方法

実験には第10報で紹介した立体提示装置と姿勢入力装置を用いた¹⁾。Fig. 1 に実験システム全体の構成を示す。目標姿勢入力 $X(t)$ には疑似ランダムノイズ

$$X_i(t) = \sum a_n p^{-k} \sin(\omega_0 p^k t + \phi_k)$$

$$(p=1.25, n=17, \omega_0=0.0125\text{Hz}, \phi_k \text{は乱数})$$

を用いる。また、提示にはダブルバッファリングを用い、提示及びサンプリングの周期は78msである。

ここで評価すべき、オペレータを含んだ提示・操作系の伝達関数 $T(f)$ は

$$\begin{aligned} T(f) &= \Phi_{xy} / \Phi_{xx} \\ &= E[I(f) * \{O(f) + N(f)\}] / E[I(f) * I(f)] \\ &= E[I(f) * O(f)] / E[I(f) * I(f)] \\ &= O(f) / I(f) \end{aligned}$$

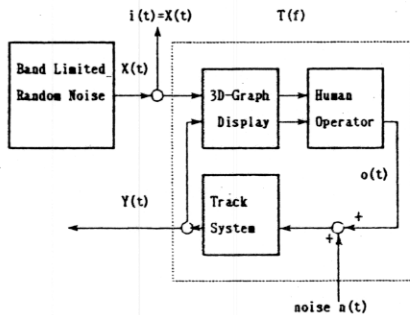


Fig.1. Block Diagram of the Tracking Simulation System

で与えられる²⁾。プログラム上では1024点のサンプリング結果のFourier変換を $I(f)$ 、 $O(f) + N(f)$ とし、これのアンサンブル平均を Φ_{xy} 、 Φ_{xx} とする。

こうして得た $T(f)$ の周波数応答の例をFig. 2に示す。 $T(f)$ の評価として本論では位相遅れが $-\pi$ となる周波数 f_c と追従誤差のrmse値 (root mean square error) d_c を用いて議論を進める。

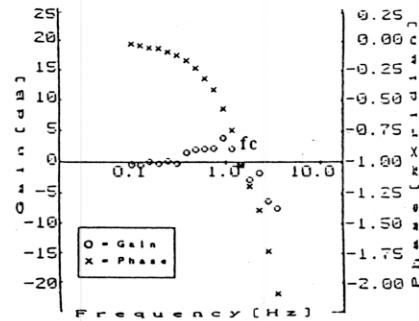


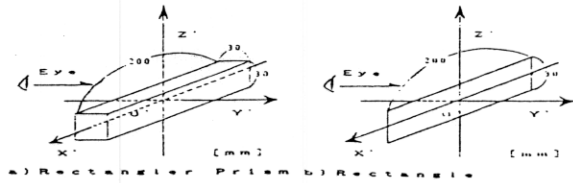
Fig.2 Frequency Response Characteristics

3. 実験1: ロール・ピッチ・ヨーの伝達関数

Fig. 3に実験に用いた制御対象とその提示状況を示す。4の字型をした図のような立体が二個、同じ位置に異なった色で表示される。このうち一方が目標姿勢 $X(t)$ を表わし、もう一方がオペレータの入力姿勢 $Y(t)$ を表わす。 $X(t)$ の各値は最大振幅 $\pi/6$ に規格化したものを用いる。また入力装置として三軸のジョイスティックを用いた。

Table. 1 に各条件下での f_c 、 d_c を示す。奥行き方向の知覚を必要とするロール、ヨーに対してそれを必要としないピッチの周波数特性が良いことがわかる。また、追従すべき回転軸が多くなるにつれて f_c が下がり d_c が増加していく傾向があり、ロールとヨーにおいて顕著である。このことから立体の姿勢の奥行き方向の認識が他の方向に比べて周波数特性が悪く、不利な認識方向であることがわかる。

この実験では奥行き方向の認識を助けるために透視法と両眼立体視を用いた。そこで、これらの提示技術と立体の姿勢の認識との関係を調べる。



Tracked Φ, Θ, Ψ	ϕ	θ	ψ	ϕ, θ	θ, ψ	ψ, ϕ	ϕ, θ, ψ
Roll : Φ	f_c [Hz]	1.24	---	---	.728	---	.831 1.06
	d_c [rad]	.125	---	---	.193	---	.230 .228
Pitch: Θ	f_c [Hz]	---	1.37	---	1.29	1.20	---
	d_c [rad]	---	.115	---	.102	.104	---
Yaw : Ψ	f_c [Hz]	---	---	1.18	---	1.14	.900 1.14
	d_c [rad]	---	---	.116	---	.170	.149 .186

Table. 1 Tracking Characteristics of Roll, Pitch, Yaw

Object and Axis with Perspective			
Display	a) X,Z	b) X,Z	b) X,-
Bino- f_c [Hz]	.763	.690	.747
culer d_c [rad]	.181	.162	.146
Mon- f_c [Hz]	.728	.666	.672
culer d_c [rad]	.205	.205	.243

Table. 2 Tracking Characteristics

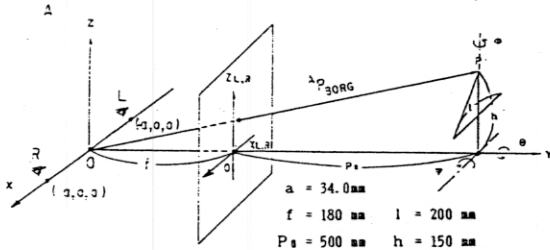


Fig. 3 Display of Controlled Objects

4. 実験2：両眼立体視と透視法

制御対象の動きをZ軸回りだけに限定し、それぞれ縦方向、横方向に対して奥行き距離に応じた透視法をかけられた各種対象を、単眼視、両眼視の両方で提示を行い、その追従特性を調べた。提示の条件は目標対象と制御対象を上下に並べて表示した以外実験1と同様である。提示対象と結果をTable. 2に示す。

対象が透視法無しの単眼視による長方形の場合には、奥行き量の符号情報が欠落するため変位の位相の反転を認識できず、追従不能となる。これはTable. 2において d_c の極端な増加と f_c の検出不能という形で現れている。透視法を用いた提示においては単眼の二次元図形の変形から三次元上の立体の姿勢を推定できるため、単眼視によっても追従が可能である。また、透視法有りのすべての対象において両眼視による特性改善が認められる。しかし、透視法無しの両眼視による長方形の場合、透視法無しの単眼視の場合同様、追従不能の結果がでており、両眼立体視による奥行き知覚だけでは立体の姿勢の動的な追従は難しいことがわかる。このことから、両眼立体視と透視法はいずれも立体の姿勢の奥行き方向の情報をオペレータに提示するが、その動特性においては透視法からの情報が支配的であると考えられる。

5. 実験3：多軸姿勢入力装置

三次元の制御対象にたいしてその姿勢を制御しようとする場合、入力には3つのパラメータが必要となる。このような多軸姿勢入力装置の例として三軸のジョイスティックと磁場センサ1)を採り上げ比較をおこなった。作業として実験1の三軸同時追従を用いる。結果をTable. 3に示す。

磁場センサは、追従特性においてジョイスティックとの間に差はなく、同時に空間内での位置を入力できる点において優れているといえる。

Axis	Device	3space isotrak	3axes joy-stick
Roll : Φ	f_c [Hz]	1.14	1.06
	d_c [rad]	1.78	2.33
Pitch: Θ	f_c [Hz]	1.13	1.14
	d_c [rad]	1.23	1.30
Yaw : Ψ	f_c [Hz]	1.13	1.14
	d_c [rad]	.229	.192

Table. 3 Input Devices

6. まとめ

遠隔臨場制御システムにおける三次元立体の姿勢制御操作についてヒューマン・オペレータの追従特性をシミュレータを用いて調べ、その特性を検討した。

今後の課題として、三次元空間内での位置も含めた作業特性、対象立体が多数ある場合の空間的な情報の認識などがあげられる。また、不可視情報の効果的な視覚提示の研究も進めている。

参考文献

- 1) 館ほか: テレグジスタンスの研究 第10報, 第5回ロボット学会学術講演会予稿集
- 2) S. Tachi, "Quantitative Comparison of Alternative Sensory Displays for Mobility Aids for the Blind", IEEE, vol. BME-30, No. 9, pp. 571-577, Sep., 1983