時間遅れを有するテレオペレーションにおける 予告情報の効果*

橋本孝之**, Thomas B. Sheridan***, Mark V. Noyes****

1. はじめに

地球～宇宙基地間、あるいは海上～深海艇間のテレオペレーションにおいては、通信遅れは避けられない現象であり、システムの操作性の観点から改めて問題となっている。

本研究では、このような問題を解決するひとつの手法として、操作者に通信遅れを補償した情報、すなわちスレーブマニピュレータの運動に関する予告情報をグラフィックス画像により呈示することを考え、予告情報の有無が操作の円滑化および信頼性にどの程度有効であるかを実験的に明らかにする。

2. システム構成

実験室内において構成した予告（テレ）オペレーションシステムを図1に示す。

マスタおよびスレーブマニピュレータ（以後、それぞれマスタ、スレーブとよぶ）はおのおの肩、腕、手より構成され、手の部分を除いては幾何学的に全く同じである。肩および腕はそれぞれ2自由度、手は握る機能も加わるため3自由度となる。主要な寸法は図中に示すとおりである。

さて、たとえば地球～宇宙基地間の往路・復路にそれぞれ存在する遅れ時間は、モニタTVを観察しながら操作する地上の操作者からみれば、いずれかの経路に合算されて存在していると考えてもならな

い。そこで時間遅れを有するシステムを実験室内で構成するため、往路すなわちマスタ（地上）とスレーブ（宇宙基地）間に計算機（PDP 11/34）を介在させ、任意時間の遅れ（0～6.99秒）が得られる計算機制御マニピュレーションシステムを構成した。

一方、スレーブを取り巻く環境はビデオカメラにより実時間で常時モニタされ、ビデオ画像としてTVに映しだされる。ところで、スレーブの動きはマスタの動きと時間遅れを除いては1対1に対応している。そこでマスタの輪郭を表示するグラフィックス画像をつくりだし、これをビデオ画像上に重ね合わせて表示すれば、結局グラフィックス画像がスレーブの遅れた後の位置情報、すなわち予告情報となり、予告マニピュレーションシステムが構成される。

モニタTVは9inモノクロムTVである。グラフィックス画像はビデオ画像に比べて十分の輝度をもったワイヤフレームで描かれ、かつ遠近感が判断できるように透視投影されている。なお、画像は320×240ピクセルで構成され、操作者にとっては完全に連続して移動しているように見える。

図1 実験室内におけるシステム

Fig. 1 The system configuration in laboratory.

* 昭和60年6月25日受付

** 大阪教育大学

Osaka Kyōiku Univ.

*** Massachusetts Institute of Technology.

**** Computervision Corp.

3. 実験

予告マニピュレーションシステムの有効性を調べるために、下記の条件で被験者による実験を行う。

- (1) 被験者：マニピュレータの操作経験が全くない 25～30 歳の男子 3 名。
- (2) 被験者への指示：机上 A 地点にある対象物(3/4×2×2.5 in のブロック)を掴み B 地点に移動させる。ただし A, B 地点を結ぶ線分はスレーブの X 軸(図 1 参照)に平行である。なお、下記 (3), (4) についても周知させておく。
- (3) 評価規範：作業完了時間を規範とする(操作の円滑性に関係)。なお、対象物をあらかじめ決められた許容範囲に置けなかったり、移動途中で落下させたり、あるいは 180 sec 以内に完了しなかった場合は失敗とみなす(操作の信頼性に関係)。
- (4) パラメータ：被験者は下記の諸パラメータの組み合わせに対し、ただし許容範囲 0.5, 1.5 倍、移動距離 10, 30 in については遅れ時間が 3.2 sec のみに対して、それぞれ 14 回、計 336 回、ランダムな順序で試行する。なお、試行 7 回ごとに十分な休憩をとる。

遅れ時間：地球～月間の通信遅れ時間は約 3 sec であることから、以下のとおりとする。

0, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4 sec

許容範囲：対象物の幅 (3/4 in) の 0.5, 1 または 1.5 倍の長さを底面各辺に加えた範囲。

移動距離：10, 20, 30 in

4. 結果

作業完了時間に関する一例を図 2 に示す。図中丸印は

図 2 作業完了時間に対する効果

Fig. 2 Effects on the completion time.

図 3 失敗回数に対する効果

Fig. 3 Effects on the number of failures.

試行 14 回の平均値(ただし失敗した場合には、その回数分だけ減じる)およびその上下に 95% 信頼区間が示されている。予告情報の効果を明らかにするため、予告情報がある場合とない場合の間で分散および平均値の差の検定を行ったところ、遅れ時間が 0.8 sec 以上では有意水準 5% で差が認められた。この結果、および信頼区間の推定結果から、予告情報のある場合のほうが作業完了時間を 25～40% 短くすることが期待でき、予告情報の効果が確認された。また例示していないが、本稿で対象としている許容範囲および移動距離においては、どの組み合わせについても、その作業完了時間が予告情報のある場合のほうが 20～50% 短いことも明らかになっている。

一方、作業の失敗回数に関する一例を図 3 に示す。図中 F.G, F.P はそれぞれ掴み際、置く際の失敗回数を表し、F はその合計を示す。いずれの被験者の場合でも、対象物を掴む際の失敗は予告情報のある場合には皆無であり、また対象物を許容範囲内に置くときでも予告情報のある場合のほうが格段と失敗回数が少ないことが認められる。加えて許容範囲が狭くなれば、その差もより顕著になる結果も得ている。

5. おわりに

大きな時間遅れを有するテレオペレーションシステムでの対象物の移動作業においては、予告情報はきわめて有効であり、操作の円滑化のみならず信頼性をも高めることが明らかになった。テレオペレーションでの作業はこの移動作業の繰り返しが大半であることから、予告情報の効果はより期待できるものと思われる。また、この手法は航空機などの大型建造物のリベッティング時におけるロボットのティーチングなどにも十分応用可能である。