

機械技術研究所 ○ 館 暉, 谷江和雄, 小森谷 清, 金子 真, 阿部 稔

1. はじめに 従来の遠隔操縦は、人がテレビなどを介して遠隔地のロボットを操縦しており、いわば窓越しに対象やロボットの腕を見ているため、その操作は極めてぎこちなく操縦性が低い。操作者が作業用ロボットのいる所に自分も存在する、あるいはロボットの中に入りこんで作業をしているかの如き臨場感を持って作業が行えることが重要である。そのような高度の tele-operator は、tele-presence あるいは tele-existence と呼ばれている。理想的なテレイグジスタンスシステムでは、操作者の視覚・聴覚・触覚などすべての感覚にロボットの対応するセンサからの情報が直接伝達される。逆に操作者の目の動き、首の動き、体幹の動き、腕の動きや筋電などの状態が実時間で計測され、それにもとづいてロボットの感覚器や効果器が制御される。例えば操作者が見たい方向を向けばロボットも同一方向を向いて、そこに人がいた時見える情景に対応する像が人の網膜上に実像として結像される。操作者が自分の腕を目の前に持ってくるると視野内にはロボットの手が同じ位置関係であらわれる。ロボットが物体に触れた感覚は人の手に皮膚刺激として提示され、人は自分で触れたのと同じの臨場感をもち、人がロボットの中に入り込んで作業するのと同程度の操作性を持って作業ができる。

そのようなシステム実現の基礎的な研究として、操作者の首の動きを実時間計測し、それにもとづいて人と同一のディメンジョンを有するテレビカメラを実時間制御して、人の網膜上に実際の環境を直視しているのと全く同一の二つの二次元像を常時提示し、実在感を生じさせる方式を提案し、試作装置により有効性を確認し前報で報告した。¹⁾本報告では、その装置の実在感を人の裸眼による空間知覚と装置を通した空間知覚とを比較することにより評価する。特に、心理空間を定曲率のリーマン空間で近似し、そのパラメータの値として定量的に比較しディスプレイの最適設計を試みる。

2. 視覚提示の方法 人が単色の空間を知覚する際の重要なパラメータとして、1) 水晶体調節筋肉緊張弛緩、2) 網膜像の大きさ、3) 両眼の輻輳角の三つがあげられる。理想的な視覚提示システムでは、これらのパラメータが裸眼による場合のそれとつねに等しくなるように実時間的にディスプレイ装置を変化させる必要がある。これらのパラメータのうち、特に2)と3)は重要で、例えば輻輳角のみ変えて像の大きさを変化させないと距離の変化としては知覚されず、像の大きさが変わって見えることが知られている (Emmert

の法則)。図1に、網膜像の大きさと輻輳角とを裸眼による場合と同一に保つ方法を示す。

(a)は裸眼の場合の網膜上への結像を示す。中間に平面を考え3次元像Aの平面への投影像を B_L, B_R とし、その平面を人の眼が見ていると考えることができる。(b)はテレビカメラで同一の輻輳角を有してAを見た状態を示している。中間平面までの変換は(a)と同一であるが、その後の変換が眼の場合とは異

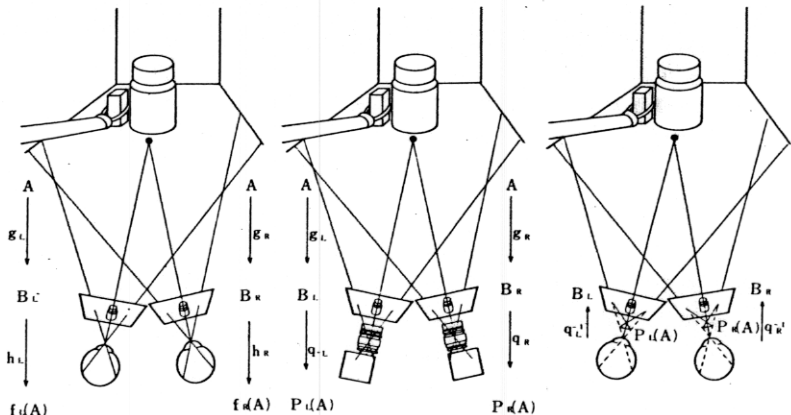


図1 輻輳角と網膜像の大きさを考慮した視覚提示装置の原理

っている。(c)はその逆変換を利用してCRTと光学系とを用いて \$B_R\$ と \$B_L\$ の二つの平面を再構成したもので、人の眼はそれらを見ることにより \$A\$ を直接見ているのと同じの感覚を得る。さらに、目の調節も考慮する場合には、\$B_L\$ と \$B_R\$ の位置を固定せず \$A\$ の位置にあわせて変化させればよい。この方式にもとづく試作装置の詳細については第1報を参照されたい。

3. 実験 視覚提示装置を評価する上で最も重要な点は人がその場で直接見た場合の心理的な視空間と、視覚ディスプレイ装置を介して見た場合の心理的な視空間との対処が1対1になっていることである。これを定量的に調べる一つの方法として、心理的な視空間を定曲率のリーマン空間として近似し²⁾ そのパラメータの値を装置を介した時と裸眼の時とで比較する方法を提案する。

図2は、HelmholtzによるhoropterとHillebrandのparallel alleyおよびBlumenfeldのdistance alleyの概念を示す。それらは、視空間の座標系を \$(\xi, \eta, c)\$ として、それぞれ次式により近似される。

$$\frac{K}{4} (\xi^2 + \eta^2) - 1 = A\xi$$

$$\frac{K}{4} (\xi^2 + \eta^2) - 1 = -C\eta$$

$$\frac{K}{4} (\xi^2 + \eta^2) + 1 = C\eta$$

実際の実験結果を上式にあてはめることにより必要な視空間のパラメータが推定でき、定量的な比較が行える。

図3に裸眼によるホロプタの実験例、図4に裸眼によるアレイ実験の例を示す。図5、図6には2mでディスプレイの輻角が裸眼の輻角と一致するように固定してホロプタ実験を行った結果を示す。接眼と対物のレンズを変化させることにより網膜上の像の大きさが変化したり、輻角が異なることにより、裸眼のホロプタからずれてくることが分かる。

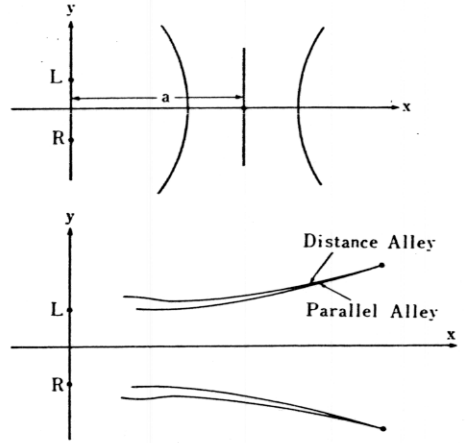


図2 ホロプタとアレイ実験の概念図

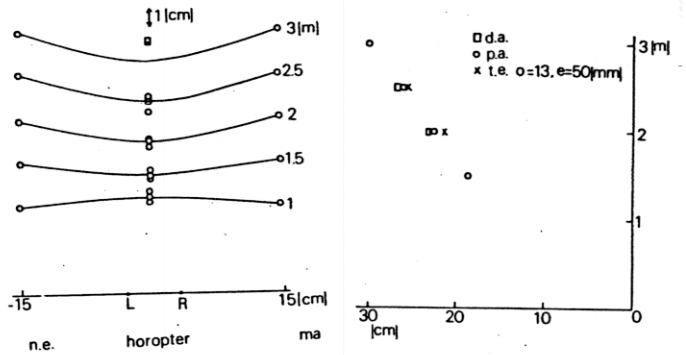


図3 裸眼のホロプタ実験例 図4 アレイ実験例

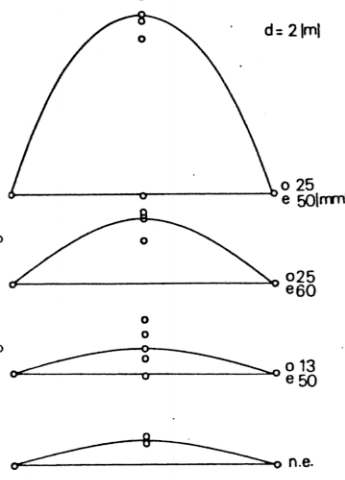


図5 2mでのホロプタ例

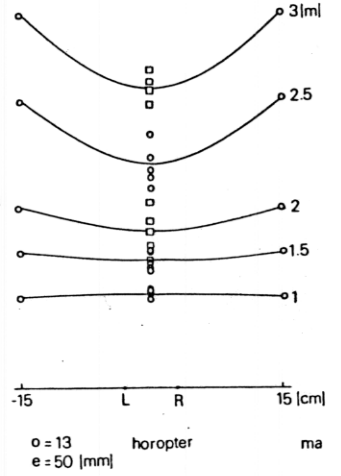


図6 2mで調整した例

- 1) 館ほか：テレイグジスタンスの研究 第1報，第21回SICE学術講演会前刷，(1982)，167
- 2) R.K.Luneburg：The metric of binocular visual space, JOSA, (1950)，627