

## 論文の内容の要旨

論文題目 テレイグジスタンスにおける実時間三次元映像の相互提示法の研究

氏名 國田 豊

遠隔地間での面談を実現しようとした場合、従来のテレビ電話のようにただ 2 次元映像と音声をやりとりするだけでは不十分であり、利用者の位置関係を表現できる 3 次元空間を相互に実時間で提示できなくてはならない。

本論文では、その工学的な実現手段として円筒型ブースを端末とするシステムを提案する。このブースにおいては、中にいる利用者の全周映像をとらえるとともに、その利用者に全周から立体映像を提示することで、光線の入出力をシミュレートし、遠隔地間でも面談と同様な視空間を相互に提示する。その実装としては、高速度カメラと両眼分の指向性のある光源列を円周軌道上で走査するという手段を用いる。

また、ブース間で 3 次元映像をそのまま伝送すると、そのデータ量は膨大なものとなる。現在の光ファイバを用いたネットワークにおいても、このようなデータを伝送するだけの帯域は確保できない。そこで、基本的には利用者の左右眼に提示する 2 眼分の 2 次元映像をあらかじめ生成し、それを伝送するという設計をとる。ただし、例えば光ファイバにおいて地球の裏側との通信の伝送遅延は往復で 200msec 程度となる。利用者が頭部運動をしてから映像が更新されるのにこの時間がかかると、いわゆるモーションシックネスと呼ばれる不快感を与えてしまう。そこで、利用者の視点位置近辺の映像を生成するのに必要なデータを送信し、ローカルで視点位置に応じた映像を生成することで、頭部移動に対する遅延を補償する。

以上に述べたシステムの実現可能性を示すために、撮像系と提示系のそれぞれにおいて試作機を製作し、実験を行った。

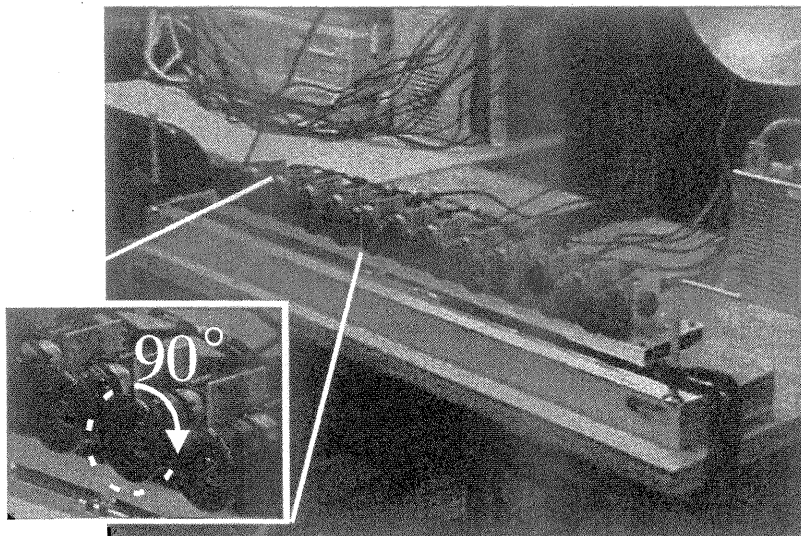


図 1 撮像系の試作機の概観

撮像系の試作機としては、図 1 に示すように、複数のカメラを直線状に配置し被写体の任意視点映像を実時間で生成するシステムを製作した。このシステムにおいては、実時間処理のために、被写体の幾何的な形状を明示的に求めない映像生成の手法を用いた。カメラと被写体のおよその距離を想定し、そこに透明な平面があると仮定して、生成する視点位置に応じて各カメラからの映像の一部を投影する。この際、被写体が厳密にはこの距離になくても、ある許容誤差の範囲内で映像を生成することができる。

そこで、このような被写体の存在範囲を「等価被写界深度(Equivalent Depth of Field, EDof)」として定式化した。等価被写界深度はカメラの設置間隔の関数となり、カメラの間隔が小さくなるほど大きくなる。例えば図 2 の左上部は、カメラと画像を生成するバーチャル視点 P、そして二つの被写体の位置関係を示している。カメラは  $Z=0$  上に並べられ、P は  $Z=50$  に位置する。また、二つの被写体は  $Z=-350$  と  $-700$ [mm]付近にそれぞれ置かれている。投影用の平面を  $Z=-350$  に設定したとき、水平方向の等価被写界深度のグラフは図の右上部のようになる。図の左下部の画像は、カメラ間隔  $\varepsilon=4$ [mm]で生成したものである。この時の等価被写界深度は  $693$ [mm]となり、グラフの通り、後ろの被写体のある  $Z=-700$  まで含む。そして実際に、前の被写体だけでなく、後の被写体の画像も誤差が実質的になく生成されている。一方、 $\varepsilon=30$ [mm]の時の等価被写界深度は  $54$ [mm]で、後ろの被写体には足りない。そして実際、図の右下部に示すように、生成された画像では後ろの被写体(と前の被写体の後ろに張り出した耳)が二重となるような箇所が生じている。このように、等価被写界深度はカメラの設置間隔を決定する上での定量的な設計指針となる。

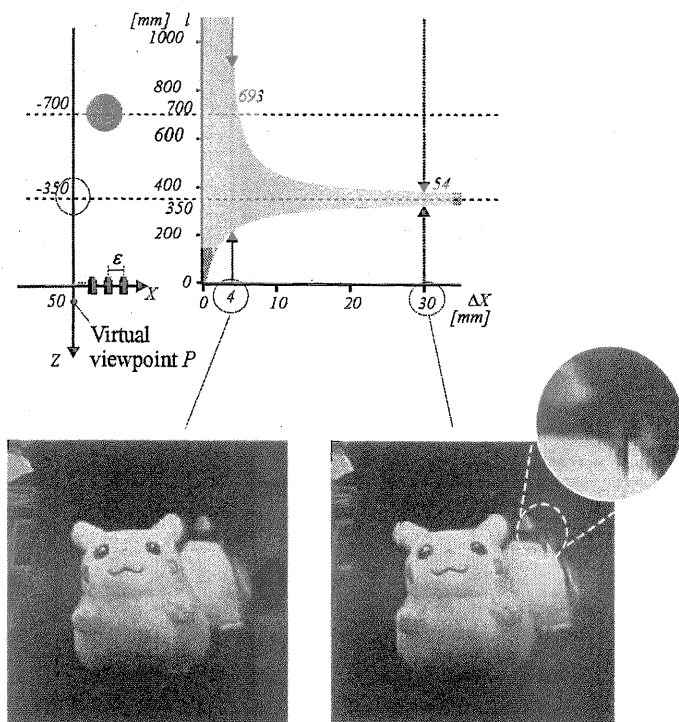


図 2 等価被写界深度と生成画像

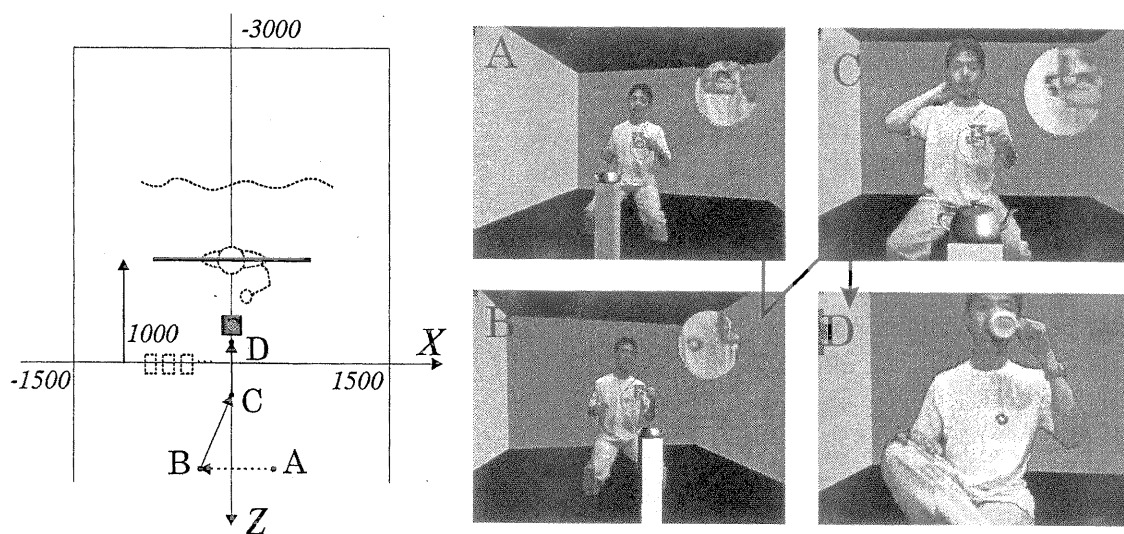


図 3 撮像系の試作機による人物像の実時間描画

また、実装上の工夫として、多数カメラからの映像信号を、走査線単位で選択して画像生成用のコンピュータに取り込んだ。多数のカメラからの映像をすべて取り込むにはコンピュータの入力帯域が不足し、ある視点位置からの映像生成に必要な画像は、それぞれのカメラでとらえた映像の一部であるためである。

図 3 は、視点位置を A→B→C→D と動かし、そこからの映像を実時間で生成した結果であ

る。視点位置 A,B はほぼ同時刻であるが、B からの画像では衣服の左胸に付いているマークが見えるのに対し、A からではカップに遮られて見えない。そして、真ん中から見た C では、マークがちょうど半分ほどカップに遮られ、カップを上げた D の状態ではマークが完全に見える。この結果から、動く被写体内で正しい遮蔽関係が表現できていることが分かる。

次に提示系の試作機として、TWISTER (Telexistence Wide-angle Immersive STEReoscope) を製作した。特殊なメガネの装着を必要とせず、広視野な立体映像を提示できるのが特徴である。その原理は図に示すように、右眼の光源列は右眼にのみ、左眼の光源列は左眼にのみ入射するように遮光板で分離し、それを走査することで全周にわたりパノラマ的な立体映像を提示する仕組みになっている。

試作一号機 TWISTER I においては、光源として赤単色の LED を縦 128 個並べ、これを左右 2 つ分とアルミ板の遮光板を 1 組として、回転半径 60cm で走査した。映像は全周に提示可能であるが、その場合、両眼の映像分離が困難になる。よって、今回は水平 60° とした。また、映像信号は LED を制御するマイコンのメモリに蓄え、一緒に回転させている。図 4 に TWISTER I により立体映像を観察している様子を示す。観察者の装着しているヘルメットは安全のためであり、立体視には寄与しない。ここで、観察者が正しく立体視ができていないかの実験として、図 5 のような図形を提示した。上下に 2 つの正方形を提示し、下の正方形は上に比べて視差が多くついている。よって、このようなパターンを立体視した際には、下の正方形が上の正方形よりも奥に知覚されるはずである。このようなパターンを立体視機能の正常な男女被験者 10 名に対して提示したところ、すべての被験者が正しくどちらが奥にあるかを言い当てることができた。

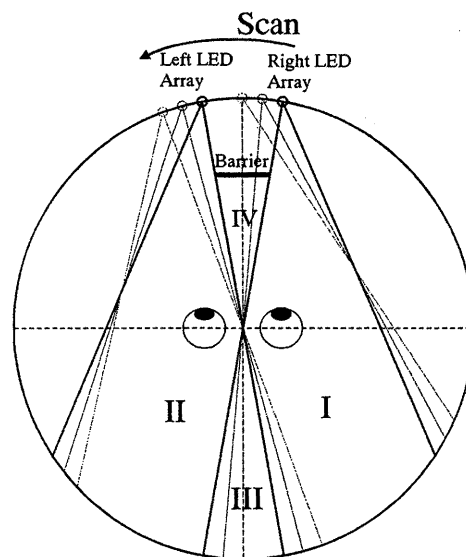


図 4 円形走査による立体映像の提示法

もしも回転速度が十分な速さでない場合、バリアの存在が知覚されたり、水平に隣り合う画素が仮現運動をしていると知覚されたり、両眼に入る対応点の時間的なずれにより立体視が成立しない、といった不具合が懸念される。しかし、今回の速度 (60rpm) においてはそのような不具合は認められなかった。さらに特記すべきことは、本試作機ではアルミ板による遮光を行なっているため、左右眼に提示している映像には全くと言っていいほどクロストークが生じていない点である。よって、完全に光を不透過に出来ない液晶シャッターや偏光板による立体表示に比べ、非常に明瞭な立体映像であるとの印象を受けた。

また、TWISTER I の改良版として、RGB の 3 原色の LED を階調表示し映像信号と電源をスリップリングで供給することで、フルカラーの動画像を提示可能とする TWISTER II の設計と部分的実装を行った。

この二つの試作機は、バリアと光源列の相対的な位置関係が一定である。すると立体視が可能となる領域は制限され、眼間距離 6.25cm で試作機を観察した場合、前後に 12.6cm、左右に 6.25cm となる。しかし、頭部位置を計測し、バリアを移動させるなどすることで、将来的には広範囲の立体視が可能になると予想できる。

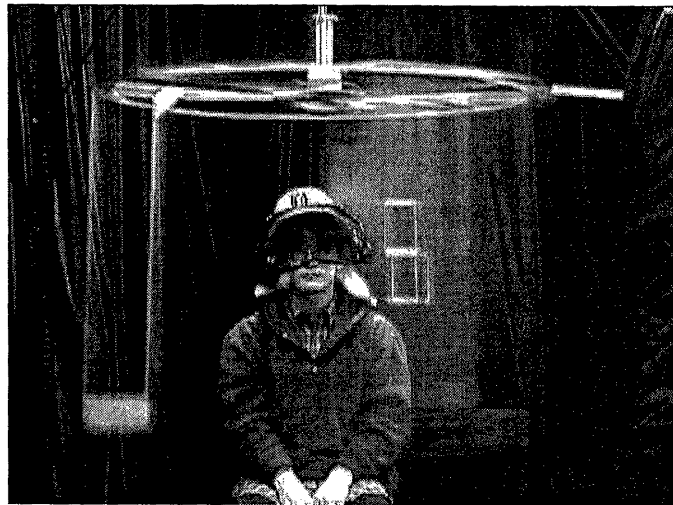


図 5 TWISTER I による裸眼立体視の様子

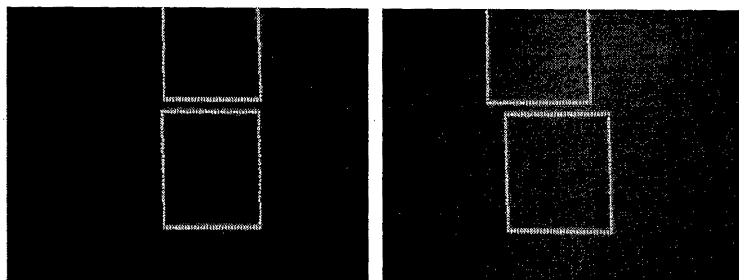


図 6 テストパターン

さらに、以上で述べた撮像系と提示系を一体化するための理論的な検証を行った。撮像系の試作機ではカメラは直線配置であるが、提案したブースにおいてはカメラは円形に配置される。よって、EDOF の概念を円形配置のカメラにも拡張し、ブースの半径の  $1/2$  を半径とする範囲内に被写体が存在するとき、許容誤差の範囲内で映像が生成できるカメラの視点数を求めた。そしてその視点数を走査により実現するためのカメラに求められる性能が技術的に実現可能で、撮像系とも共存可能であることを示した。