二眼視による立体表示技術*

出澤 正徳**

3 Dimensional Display Techniques with Binocular Vision / Masanori IDESAWA

Key words: binocular vision, stereo vision, 3-D display, 3-D drawing, mechanical shutter, polarization shutter, multi view stereo vision, fly's eye lens

1. はじめに

我々人間は視覚を通じて、多元的かつ膨大な情報を取得している。特に、立体(空間)認識機能は、3次元の環境中で活動するうえで不可欠である。立体認識においては、二眼視であることが基本的に重要な役割を果たしている¹⁾²⁾。近年、コンピュータによる、3次元情報の取扱いがますます盛んになっている。3次元的な対象物の取扱いは、通常、図面として表現したり、透視図や陰影表示など種々の立体表示技術により2次元的なディスプレイ上に表示して行われている。これらでは、立体構造の把握に高度の思考を要したり、立体視の心理的要因は満足していても、必ずしも直感的かつ確実に理解できるものではない。もし、立体的な対象物のモデルを直感的かつ生理的にも、自然な形態で確実に把握できるように表示でき、また、その表示された3次元空間に直接的に働きかける(例えば3次元的な図形を空間に直接描く)ことが可能となれば、設計など3次元的な情報を対象とした作業がより容易になるであろう。より自然な形態で、より直感的に立体的情報を把握できる表示法の開発が望まれている。

ここでは、特に、空間認識にとって重要な二眼立体視表示に使用できる技術を中心に、その原理と得失について述べ、その将来を展望することを試みる。

2. 二眼立体視

視覚では、種々の生理的要因および心理的要因によって立体感が得られる²⁾。心理的要因のみでは、曖昧さ(例えば錯視など)が残りを、元のモデルに忠実な

立体感を得るには、しばしば不十分で、生理的要因をも満足する表示が必要とされる。立体(奥行)感を得るのに重要な役割を果たす生理的要因には、3次元空間の注視点に両眼を向ける輻輳、その注視点の周囲の左眼、右眼の画像のずれ、すなわち両眼視差とがある。二眼立体視はこの2つの生理的要因を満足した画像を左眼および右眼に表示して、実空間を見ているのに近い立体感を得ようとするものである。

コンピュータ内の立体モデルを二眼立体視するには、モデル空間内で、左右の目に対応した位置に視点を設定した時の表示画面上での左右画像を生成し、対応した目のみに表示する。また、3次元空間内での、位置の指示には3次元的に移動する浮標をモデルと同様に表示して行える。目の位置のずれにより観測像にひずみが生じて、浮標のモデルに対する相対位置は保存される。通常、画像は固定された画面上に表示されるため、眼球の焦点を画面上に合わせる必要がある。

α : 輻輳, $\theta_L - \theta_R$: 両眼視差

図1 二眼立体視

* 原稿受付 昭和62年12月4日

** 理化学研究所(和光市広沢2-1)

(a) 鏡による重ね合わせ (b) プリズムによる重ね合わせ (c) 平面鏡による簡便法

L:左眼, R:右眼, F_L :左画像, F_R :右画像, M:鏡, Pr:プリズム

図2 左右分離像表示による二眼立体視の方法

したがって、3次元空間の注視点と画像の位置(目の焦点)とが一致せず、生理的に不自然で無理な状態となる。特に長時間の作業には、疲れやすく、作業後不自然な状態となるなどの難点もある。これらの視覚の特性も十分に理解した上での利用が肝要である。

3. 二眼視による立体表示の仕掛けとその得失

コンピュータグラフィックスにおける二眼視による立体表示は、左右の視点に対する表示画面上の画像の生成と、それぞれの目に対応する像のみを表示する手段とによって構成される。前者は、いわゆる透視図表示の技術であり、従来から広く用いられている手法が使用できる。従って、ここでは、後者の、それぞれの目に対応する画像のみが見えるように表示する方法についてのみ述べる。

3.1 左右分離像表示

左右の画像を別々の画面あるいは、それぞれ分離されたフィールドに重なり合わないよう表示し、適当な光学系を挿入して、目に入る時の視野が重なり合うようにしたものである。観測する場合の輻輳角が不自然とならずに、左右視野が重なり合うようにするため、いろいろな光学系が用いられている。

a) プリズム、鏡による視野の重ね合わせ

通常の立体視写真を観測する場合に用いられる立体視鏡と同じである。図2(a), (b)に示すように、表示画面上で離れている画像が、目には同じ画面上の位置となるように、プリズムや鏡で光路を屈曲させて視野を重ねている。目を一定の位置に固定して観察することが原則である。

b) 1枚の鏡による視野の重ね合わせ

1つの表示画面を用いた二眼立体視の簡便な方法として、図2(c)に示すように、左右の目の間の右目寄りの位置に右向きに平面鏡を配置して、右眼に対応した画像を左眼に対応した画像の表示位置に対して、鏡

面対称な位置に鏡面対称(左右逆転して)に表示して、右眼では鏡に写った画像を見るようにすれば、通常のディスプレイ装置でも簡単に立体視を実現できる。

c) 右眼、左眼独立な表示手段による直接表示

右眼、左眼独立に専用の表示手段を設け、それぞれの目に直接表示する方法である。

表示手段としては、小型の

CRTや液晶表示素子等も利用できる。頭部にマウントし、人の動き(向き、位置など)を検出して、それに応じて、表示画像の視点を変更して表示すれば、表示された空間内で人間が行動しているような印象を与えることも可能となる⁴⁾。

3.2 左右画像のコード化表示

同一の表示画面上に左右の画像をコード化して重ね合わせて表示する。右眼および左眼にそれぞれ対応する画像のみが見えるようにデコードの仕掛けを設ける。コード化には、色や偏光状態が利用される。

a) 色

同一画面上に、左右の画像を異なった色(通常、分離が容易な赤と青)で表示する。カラーディスプレイ装置では、左右の画像をそれぞれ異なった色(赤および青)で表示する。モノクロの表示装置では、左右それぞれの表示画面に異なった色(赤および青)のフィルタをかけ、半透鏡で重ね合わせて表示する。左右異なった色(赤および青)の眼鏡をかけると立体的に観察できる。色付き対象物を表示できない、左右の色が異なり、不自然な感じを受けるなどが難点である。線画などの表示には簡便で有効である。

b) 偏光³⁾

光は進行方向に垂直方向に振動する横波であり、通常でたらめな方向に振動している。振動が偏っている状態を偏光状態(直線偏光、回転偏光など)と呼んでいる。光を偏光板や液晶など特別な材料を通過させて、特定の偏光状態を実現できる。また、縦方向(右回り)の直線(回転)偏光状態の光は、縦方向(右回り)偏光板は通過するが、横方向(左回り)の偏光板は通過しない。左右の画像をそれぞれ相対する偏光状態(縦と横または右回りと左回り)の偏光板を通過させた後、重ね合わせて表示し、左右の目に、それぞれ対応した偏光状態の光を通過させる偏光板の眼鏡をかけて観察すれば二眼立体視できる。カラー画像表示も可

L:左眼, R:右眼, F_L :左画像CRT, F_R :右画像CRT, E_L :左偏光(色)板, E_R :右偏光(色)板, M_h :ハーフミラー, D_L :左偏光(色)眼鏡, D_R :右偏光(色)眼鏡

図3 左右コード化表示による二眼立体視の方法

能である。直線偏光では、顔を横に傾けると左右の画像が互いに漏れ合うが、逆転円偏光ではその恐れはない。

3.3 左右時分割表示

左右の画像を時分割で表示し、それに同期したシャッタで左右の目でそれぞれ対応した画像のみ観測できるようにする。左右画像の時分割表示は、例えば、画像メモリーを左右別々に設け、交互に表示するなど容易に実現できる。問題は、左右の画像の表示に同期して動作するシャッタの実現法である。

a) 機械式シャッタ

目と表示画面との間の光路に設けたシャッタを、表示に同期して機械的に開閉し、表示光を対応する目のみに到達させる。表示光の確実な通過および遮断の切換えが可能である反面、応答速度を高められない。一定周期あるいは周期変動の少ない表示の場合には、回転円板(円筒)シャッタ⁴⁾等を採用して十分機能するものを実現できる。

b) 偏光式シャッタ

近年、偏光板と液晶の電界による偏光特性変化とを組み合わせた応答速度、経済性共に実用に供し得るシャッタが開発されている。互いに直交する直線偏光、互いに逆回りの円偏光を用いた2通りの構成がある。また、シャッタ機能を眼鏡に集中させた構成、表示画面と眼鏡とに分離させた構成とがある。前者では、眼鏡にシャッタ制御用電線が必要とされ、観測者の活動が制限される。後者では、表示画面上に大面積の液晶シャッタが必要となる反面、眼鏡に制御用電線は不用で、観測者の移動の自由度が高く、心理的な負担も軽減できる。さらに、逆転円偏光による後者の構成⁶⁾

L:左眼, R:右眼, D_L :左眼シャッタ, D_R :右眼シャッタ, E:偏光シャッタ

(a) 時分割表示による二眼立体視装置の構成

F:表示画面, S:同期信号センサ, D_s :回転円板シャッタ, J:3次元入力ジョイスティック

(b) 回転円板シャッタによる立体視装置⁵⁾

図4 左右時分割表示による二眼立体視法

では、顔の回転に対する制限も緩和される。

3.4 多重画像表示

2方向のみからの画像での立体視において、目を移動すると、観測される立体が、モデルの実際の形状から外れてひずんでしまう。ホログラフィ⁷⁾のように視点の移動にも対応できる表示法はないだろうか。観測者の視点の位置、姿勢を検出し、すばやく表示画像を演算して表示画像を変更することも一つの方法⁴⁾であるが、観測者が一人に限定されてしまう不都合を生ずる。

a) 複眼(ハエの目)レンズ

ハエやトンボの目は複眼と呼ばれ、沢山のレンズを有し、それぞれのレンズに対応した3次元世界の像

(a) 複眼レンズによる二眼立体視法

(b) レンティキュラレンズによる二眼立体視法

図5 多重画像表示による二眼立体視法

が、それぞれの網膜上に映される。それでは、「ハエの網膜に映された像を外側から覗いたらどのように見えるであろうか?」視点とそれぞれのレンズ節点とを結ぶ直線が3次元空間の物体表面と交差する部分に相当する像が見える。両眼で見ると、それぞれの目に、目の間隔だけ離れた位置に視点を置いた場合に相当する上述の像が見え、二眼立体視が成立する。但し、この場合には、3次元空間の物体の表面を裏側から覗いたものになってしまう。そこで、これをあらかじめ逆転させ物体の表面を裏側からみた場合の像を各微小レンズの像面に配置すれば、立体形状を正常な形で観測できる。2次元的に配置された複眼レンズを用いれば、目の位置や姿勢にかかわらず常に正常な立体視のできる表示が実現できる。多くの視点に対する画像の生成と著しく高い画像表示分解能が必要とされるのが難点である。この問題が解決されれば、この原理に基づく立体視も実用化できる。

b) レンティキュラレンズ

立体感は左右視差のみ（上下は必要ない）で生ずるので、左右視差のみを左右方向の多くの視点について、表示し、それぞれ対応した方向から、対応した部分が観測できるように表示すれば、視点を左右方向、前後方向に移動しても正常な立体視ができるはずである。これは前述のハエの目レンズを1次元にした場合に相当し、円筒レンズを上下方向に多数配置したレンティキュラレンズを用いて実現できる。

4. む す び

二眼立体視による立体表示は、単に立体的に観測するのみでなく、立体モデルが表示されている空間内に、立体的に観測しながら、立体的に図形を描いたり、

表示されているモデルに対して、働きかけるのにも有効である。例えば、3次元特徴空間中での分布（ヒストグラム）を立体表示し、その空間内での識別多面体の設定に利用して有効であった⁵⁾。

また、従来の2次元的な図形による3次元対象物の思考でなく、視覚を通じて、直接に3次元的構造を把握しながら、設計作業⁵⁾を行うことも可能となる。この場合、表示画面のみでなく、周囲に置かれた様々な資料等も参照しながら作業できるようにすることが重要である。さらに、反力も感じ取れるような手段をも付加できれば、より作業が容易となる。

3次元の空間に直接絵を描くことは、必ずしも容易とはいえず、空間的定規に相当するなんらかの手段が必要と思われる⁵⁾。しかし、将来、このような立体的表示手段を前提とした、3次元的な芸術絵画も盛んになり、3次元空間に難なく絵を描ける新人類が育ってくる可能性も否定できない。

参 考 文 献

- 1) 杉江 昇：視覚研究ノート IV（両眼視と立体感）、電総研集報, **37**, 12 (1974) 1062.
- 2) 応用物理学会光学懇話会編：生理光学, 第7章「立体視と3次元ディスプレイ」(畑田), 朝倉書店 (1975) 257.
- 3) 田幸敏治, 辻内順平, 南 茂夫編：光学測定ハンドブック, 朝倉書店 (1981) 373~380.
- 4) 山口富士夫：ヘッドマウンテッドディスプレイ, 精密工学会誌, **54**, 2 (1988).
- 5) 出澤正徳：立体視による対話型設計法についての検討, 日本機械学会講演論文集, No. 750-3 (1975) 45.
- 6) 首藤恭三：偏光を利用した立体視技術, 精密工学会誌, **54**, 2 (1988) 260.
- 7) 本田捷夫, 辻内順平：ホログラフィ三次元ディスプレイ, 精密工学会誌, **54**, 2 (1988) 269.