

視点移動に追従するステレオ像表示の一方法

正 員 石井 郁夫<sup>†</sup>      正 員 五十嵐 透<sup>†</sup>

正 員 大和 淳二<sup>†</sup>      正 員 牧野 秀夫<sup>†</sup>

A Displaying Method of Stereoscopic Images Following the Movement of Visual Points

Ikuo ISHII<sup>†</sup>, Tohru IGARASI<sup>†</sup>, Junji YAMATO<sup>†</sup> and Hideo MAKINO<sup>†</sup>, Members

あらまし CRT による立体像表示は一般に両眼視差像による場合が多いが、本論文では視点移動に対応したステレオ像を CRT 上に実時間表示する一方法を述べた。観察対象と視点の間にのぞき窓(スクリーン)があると考え、視点を定期的に計測し、観察者がのぞき窓を通して見える情景を視点移動実時間で忠実にスクリーン上に表示する。高速の座標変換と陰面消去処理を実現するため、立体可視部分の形状をセルの集合で表し、隣接セル間を3次元のチェーンで記述する方法を提案した。この記述法は形状情報が一連の少数の相対的ベクトルで表現されるので、座標変換と陰面消去処理の単純化、データ量の圧縮などに有効である。この方法により、計測された視点に対する3次元投影像を即座に求める簡単なハードウェアを構成することが可能になった。その結果、良好な視点移動追従型立体表示が実現し、従来のステレオ像より優れた実在感が得られた。本論文では視点移動追従型立体表示の原理、装置の構成法、実験結果などの詳細を述べた。

1. ま え が き

3次元画像は立体テレビ、各種シミュレータ、医用画像診断、遠隔視覚補助、工業デザインなど多くの分野で、新しい情報伝達のメディアとして期待されている。しかし実用化の観点からは未熟であり、より実用的な表示技術の開発が望まれている。

人間の立体感覚は両眼視差、視点移動に伴う見え方の変化や運動視差、ふくそう眼球運動、目の焦点調節作用、経験などにより得られる<sup>(1)</sup>。これまで3次元ディスプレイとして多くの方式が開発されたが<sup>(2)</sup>、偏光眼鏡や液晶シャッター眼鏡で両眼視差像を得る方式が比較的手軽で高品質の表示を実現している。立体感覚として視点移動による効果も大きく作用するが<sup>(3)-(5)</sup>、2眼式カメラの位置によって定まる従来の両眼視差像は視点移動効果が表現できない。観察者の意思による視点移動を反映した立体画像表示は、単なる映像効果としての臨場感に加えて、物体の重なりなどの位置関係や正

確な3次元形状の把握など多くの実用的な情報を観察者に与える。

CRTによる立体表示は一般に両眼視差像による場合が多いが、ここではCRT上に視点移動に対応したステレオ像を実時間表示する方法を述べる。空間に仮定した観察対象と視点の間にのぞき窓(スクリーン)があると考え、視点を定期的に計測して視点移動の各時点に対応した両眼視差像を即座に表示する。すなわち、のぞき窓を通して見える情景を視点移動実時間でスクリーンに表示する。従って通常のステレオ表示とは異なり、表示データ中の3次元形状情報に対する座標変換と陰面消去の高速処理を行う。

ソリッドモデラを用いて立体形状やシーンを記述した場合、陰面消去処理に膨大な演算を必要とする。そのため、手続きをベクトル化してパイプラインや並列演算等の高速処理を行う専用ハードウェアが用いられる。しかし、リアリティの高い精巧な画像を視点移動実時間で表示するには大規模な処理装置が必要になる。視点移動追従型の表示は仮想環境誘導用ステレオビジョン<sup>(6)</sup>などに応用されているが、輪郭線像のような簡単な画像の表示にとどまっている。

<sup>†</sup> 新潟大学工学部情報工学科, 新潟市  
Faculty of Engineering, Niigata University, Niigata-shi, 950-21  
Japan

ここでは立体の可視部分をセル(通常 voxel と呼ばれるが、ここではセルの形状は定義しない)に分解し、隣接セル間を3次元のチェーンで記述する方法を提案する<sup>(6)</sup>。この記述法は形状情報が少数の相対的ベクトルの組合せだけで表現されるので、

- ① 座標変換が単純化でき簡単な装置で高速処理が可能
- ② リストプライオリティ方式の陰面消去が容易
- ③ 実際のシーンのようなモデル化しにくい対象や、断面表示用の立体内部情報の記述が可能
- ④ メモリ容量およびデータ転送時間が節約できるなどの特長を有する。本方式に基づいて立体像表示装置を試作し、視点移動効果の表示を試みた。

## 2. 表示方式の概要

本装置の構成の概要を図1に示す。立体データメモリにワールド座標上の立体像データを収容する。立体データは3次元形状情報と色などを表す属性情報からなる。座標変換処理の簡易化とデータメモリの小形化のため、3次元形状情報を隣接セル間の位置関係を表す符号のチェーンで表記する。データの表現形式については後述する。ホストコンピュータは表示データの作成、編集、ファイル管理、チェーンデータへの変換、制御部に対するコマンド処理などを行う。ファイル中の立体像データをチェーンデータに変換して立体データメモリへ転送した後、制御部にコマンドを与えて描画処理動作に移行する。

任意方向からの観察を可能にするため、ワールド座標における基準視点方向(ディスプレイ面中央点の法線方向)をジョイスティックなどからの入力で任意に設定する。更に、ディスプレイ面に対する相対的な視点

周期的に計測し、視点に対応したステレオ像を求めて表示する。視点計測部では、液晶シャッター眼鏡上の超音波スピーカ(SP)とディスプレイ表示面周辺に取り付けた複数の超音波マイクロホン(MIC)間の伝搬遅延時間を計測し、更に傾斜計で頭の傾きを測定して、左右の目の座標値を求めて座標変換部へ送る。座標変換部では立体データメモリのチェーンデータをセル1個ごとに逐次取り出し、スクリーン座標への変換を行う。フレームメモリは左右の視点ごとに描画用と表示用の各2組を用意し、描画と表示の動作を互いに非同期で並行して行う。表示側は液晶シャッターに同期して1フレームごとに左目像と右目像を切り換えてステレオ像表示を行う。

## 3. 立体データの形式

ワールド座標の一つの座標軸に1セル間隔で多数の平面を直交させ、その平面により切断される3次元物体像の可視部分の断面像を作る。断面内で順次一つのセルを隣接する他の一つのセルへリンクし、各リンクの方向を示すデータのチェーンを作成して3次元形状を表現する。また、セル単位で色などの属性情報を記述する。

3次元形状をセルの集合として表す場合、SCOPE<sup>(7)</sup>などのようにメモリアドレスと空間座標を直接対応付けた3次元メモリを用いることが多い。しかし、この方法では立体の定義可能な全空間に対応した大きなメモリが必要になる。各セルの位置を絶対座標値で取り扱わず、隣接セル間の相対的位置関係だけで記述することにより、ほぼセル数に相当するメモリ空間だけで立体情報の収容が可能になる。

図2は立体形状をセル間のチェーンで表現した一例

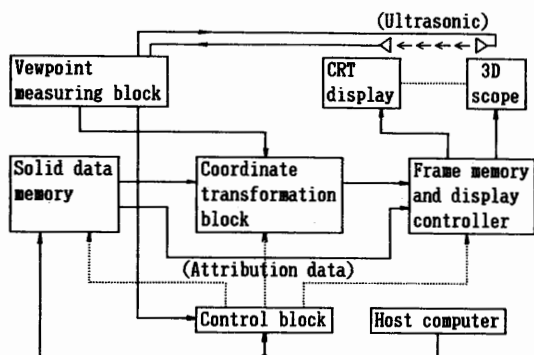


図1 ブロック図  
Fig. 1 Block diagram.

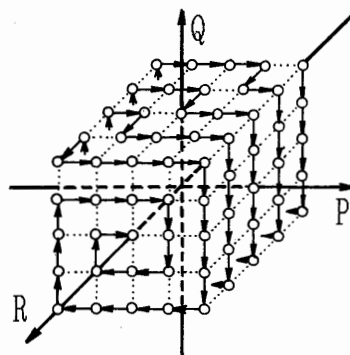


図2 セルのチェーンによる立体の記述  
Fig. 2 Description of solid using the chain of cells.

で、直方体を例示した。面  $PR$  を水平面、 $Q$  軸を鉛直軸とするワールド座標  $PQR$  において、立体の可視部分を  $R$  軸と直交する 1 セル間隔の切断面のスタックと考え、断面内の隣接セル間を図 3 の  $a \sim d$  および  $-a \sim -d$  の 8 方向結合サブベクトルのいずれかで結び、チェーンを作る。図 3 の  $ijk$  座標は  $PQR$  座標のサブスペースで、常に  $k$  軸を切断面のスタック軸 (この場合は  $R$  軸) 方向、 $ik$  面を  $PR$  面に平行にとる。1 断面内の全セルを連結した後、図 3 の  $e$  または  $-e$  の結合を用いて隣接断面の記述に移る。1 断面内のセルが不連続な場合は、不連続部分の描画をしないで座標点のみ移動する移動モードにして、全セルを 1 連のチェーンで連結する。立体形状情報は図 3 の 10 種類のサブベクト

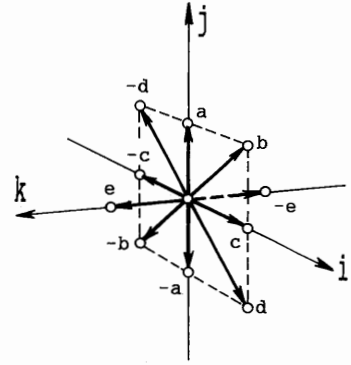


図 3 隣接セル間のサブベクトル  
Fig. 3 Subvectors toward adjacent cells.

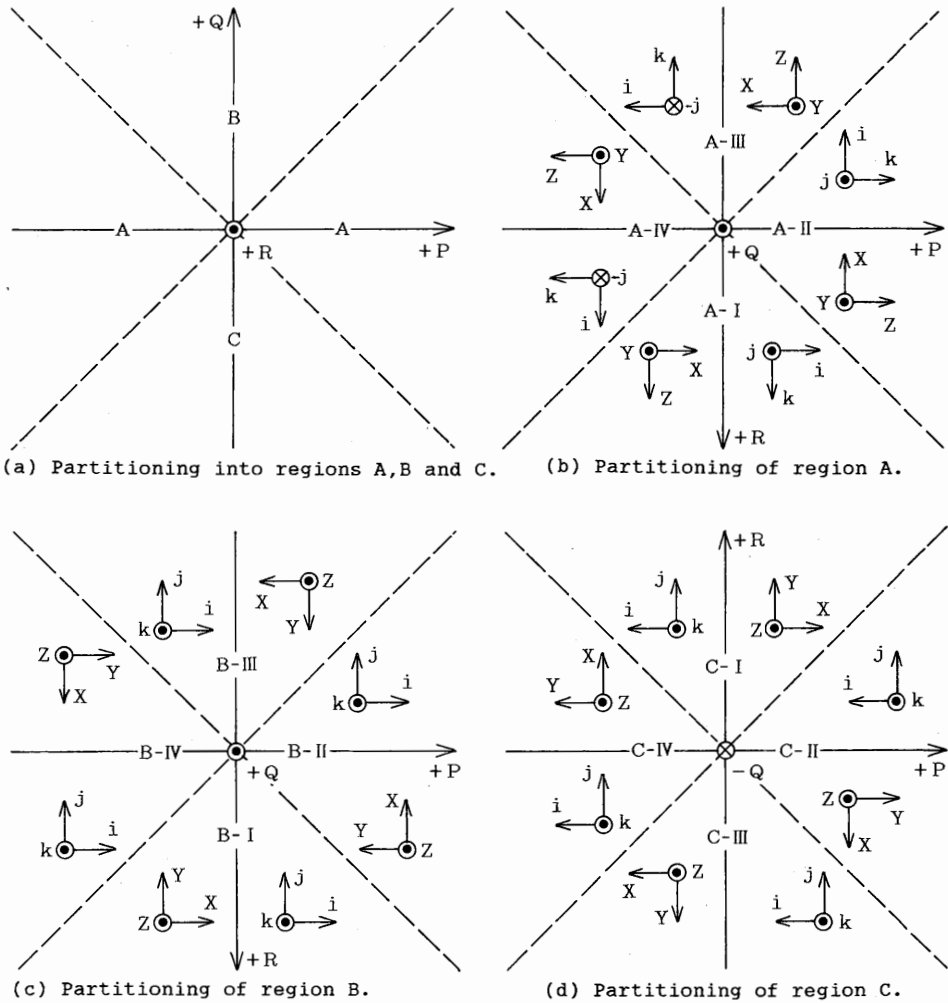


図 4 ワールド空間の分割と座標軸の対応  
Fig. 4 Partitioning of the world space and correspondence between axes of coordinates.

ル符号、描画モードと移動モードの切換え符号および描画終了符号などを識別する4ビット符号の連鎖で記述する。

視点から遠い断面から連結順に1セルずつ読み出して、視点に対応した座標変換を行い、フレームメモリに転送することによって、遠い情景の上に近い情景が上書きされ、リストプライオリティ方式の陰面消去が行われる。図2の例では、+R軸を中心に水平方向±45°、垂直方向±45°の範囲内で陰面消去が可能である。この範囲外では一つの断面内の複数のセルが同一画素に投影されることがある。1断面内のセル間の描画順序は視点方向には無関係なので、上記の範囲外では正しい陰面消去ができない。また、同一のチェーンを逆順にたどることによって、-R軸を中心とした上下左右各±45°の視点に対する陰面消去ができる。ワールド座標の全方向の視点に対する陰面消去を行うには、図2のR軸と直交する切断面スタックのチェーンデータのほかに、P軸およびQ軸と直交する切断面スタックのチェーンデータを立体像メモリ上に用意する。図3のサブスペースの座標軸も切断面スタックの方向に対応して前述のように変更してチェーンを記述する。視点位置による切断面スタックの選択ならびにサブスペースの座標軸の対応付けを行うため、視点の存在する区域を次のように分割する。原点と視点を結ぶ線がPR面となす角を $\alpha$ とし、図4(a)のように空間を $+45^\circ \geq \alpha \geq -45^\circ$ の領域A、 $\alpha > +45^\circ$ の領域Bおよび $-45^\circ > \alpha$ の領域Cに3分割する。更に同図(b)~(d)のように、Q軸で交差する2枚の直交平面でA、B、C各領域を4分割し、それぞれA-I~A-IV、B-I~B-IV、C-I~C-IVとする。視点の存在する領域によって表1に従って描画に使用する切断面スタック軸を変更しチェーンデータを切り換える。例えば視点がA-II領域(+P軸方向)にある場合、P軸が切断面スタック軸になっているチェーンデータを選択し、視点から最も遠い-P方向の切断面から順に+P方向に向かってチェーンをたどって1セルずつ描画処理を実行する。視点がA-IV

領域(-P軸方向)にある場合は、同じP軸スタックのチェーンデータを選択し、A-II領域の場合とは逆にチェーンをたどる。

視点の存在する領域によって描画に使用するスタックデータを切り換えるので、座標軸も視点領域によって変更したXYZ座標を用いる。PQR座標とXYZ座標の対応を図4中に記す。常にZ軸が視点方向に最も近い軸、X軸が視点から見て右手方向の軸になる。更に隣接セル間の結合を記述するサブスペースijkも、図中に記したように対応させる。但し、視点領域がA-III、A-IVおよびC-I~C-IVの場合はそれぞれA-I、A-IIおよびB-I~B-IVの場合のチェーンを逆順に読み出して座標変換を行うので、サブベクトルの始点と終点の関係が入れ替わって図示のような対応関係になることに注意する必要がある。

### 4. 座標変換

#### 4.1 回転変換

図5のようにUVN座標を設定する。原点をXYZ座標原点上に、N軸を基準視点の方向に、U軸をXZ平面上にとる。従って、UV平面は常にスクリーン面U'V'に平行である。左右の視点に対応したそれぞれの像をスクリーン上に描くには、XYZ座標上のチェーンデータをUVN座標に変換した後、左右の視点それぞれについてU'V'座標に投影変換を行う。

XYZ座標からUVN座標への回転変換は、図5の $\phi$ と $\theta$ の回転になる。U、V、N方向の単位ベクトルをそれぞれ $u = OP_u$ 、 $v = OP_v$ 、 $n = OP_n$ とし、 $u$ 、 $v$ 、 $n$ のXYZ成分をそれぞれ $u_x$ 、 $u_y$ 、 $u_z$ 、 $v_x$ 、 $v_y$ 、 $v_z$ ならびに $n_x$ 、 $n_y$ 、 $n_z$ とすれば、次式を得る。

$$u_x = \cos\phi, \quad u_y = 0, \quad u_z = -\sin\phi \quad (1)$$

表1 切断面スタック軸の視点領域による選択

| 視点領域     | 切断面スタック軸 | 処理順序  |
|----------|----------|-------|
| A-I      | R軸       | -R→+R |
| A-II     | P軸       | -P→+P |
| A-III    | R軸       | +R→-R |
| A-IV     | P軸       | +P→-P |
| B-I~B-IV | Q軸       | -Q→+Q |
| C-I~C-IV | Q軸       | +Q→-Q |

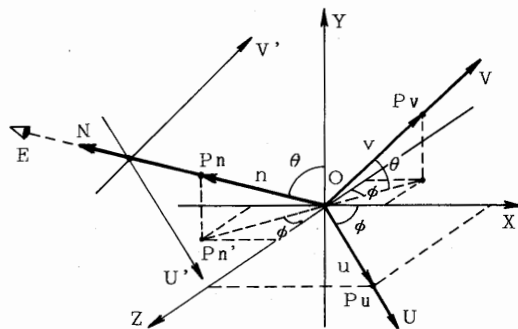


図5 座標系の変換  
Fig. 5 Coordinate transformation.

$$v_x = -\cos\theta \cdot \sin\phi, \quad v_y = \sin\theta, \quad v_z = -\cos\theta \cdot \cos\phi \quad (2)$$

$$n_x = \sin\theta \cdot \sin\phi, \quad n_y = \cos\theta, \quad n_z = \sin\theta \cdot \cos\phi \quad (3)$$

従って、XYZ 座標から UVN 座標への変換式は次のようになる。

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_x & u_y & u_z \\ v_x & v_y & v_z \\ n_x & n_y & n_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (4)$$

視点が変換されるたびに式(1)~(3)により単位ベクトルを更新し、各セルごとに式(4)の積和演算を行う必要がある。

本方式では立体形状を隣接セル間の差分の連鎖で表現するので、XYZ 座標の隣接セル間の差分値  $\Delta_x$ ,  $\Delta_y$ ,  $\Delta_z$  を直接 UVN 座標の差分値  $\Delta_u$ ,  $\Delta_v$ ,  $\Delta_n$  に変換する。変換式は、

$$\begin{bmatrix} \Delta_u \\ \Delta_v \\ \Delta_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_x & u_y & u_z \\ v_x & v_y & v_z \\ n_x & n_y & n_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta_x \\ \Delta_y \\ \Delta_z \end{bmatrix} \quad (4)$$

である。得られた差分値を順に累加算するだけで、各セルの UVN 絶対座標値が得られる。

$$U = \sum \Delta_u, \quad V = \sum \Delta_v, \quad N = \sum \Delta_n \quad (6)$$

XYZ 座標の格子間隔を 1 とした場合、図 3 に示す 10 方向の隣接セル間差分ベクトルの X, Y, Z 軸成分  $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$  は、-1, 0, +1 のいずれかの値しかとらない。従って式(5)は単に  $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$  によって符号付けされた加算になり、符号は各セル間差分ベクトルの方向だけで決まる。故に、視点計測部で視点計測ごとに図 3 の 10 方向サブベクトルそれぞれの差分値  $\Delta_u, \Delta_v, \Delta_n$  を直接求めて、座標変換部のレジスタファイルにテーブルとして書き込んでしまう。座標変換時は各セルごとのサブベクトルの差分値をこのテーブルから選択し、累加算するだけで回転変換処理が実現できる。更に、原点から始まるチェーンとすれば、累加算器の初期設定もクリア操作だけになり、より簡単に構成できる。

### 4.2 投影変換

一般的なグラフィック処理では、基準視点方向に視点があると考えて投影変換を行う。本装置では視点をパラメータにしているので、計測された視点が基準視点方向からずれている場合は、そのずれに対応した変換演算を行う必要がある。図 6 のように UVN 座標上でセル J の座標を  $(U_j, V_j, N_j)$ 、視点 E の座標を  $(U_e, V_e, N_e)$  としたとき、J のスクリーン上への投影点 S の座標  $(U_s', V_s')$  は次式で得られる。

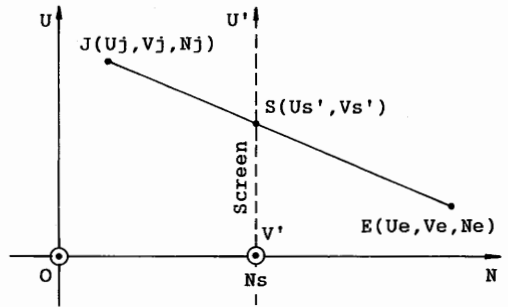


図 6 透視投影変換

Fig. 6 Coordinate transformation for perspective projection.

$$\alpha = (N_e - N_s) / (N_e - N_j) \quad (7)$$

$$U_s' = \alpha(U_j - U_e) + U_e \quad (8)$$

$$V_s' = \alpha(V_j - V_e) + V_e \quad (9)$$

但し、 $N_s$  はスクリーンの N 座標値である。

投影変換部では計測により求めた視点座標値と各セルの座標値を入力し、式(7)~(9)により  $U_s', V_s'$  をフレームメモリアドレスとして出力する。投影変換演算器は左右の視点  $E_R, E_L$  独立に用意し、一つのセルに対して並列に左右のフレームメモリアドレス値を求める。

## 5. 装置構成

座標変換部を中心とした装置構成の詳細を図 7 に示す。各セルのデータは 4 ビットのチェーン制御符号と 12 ビットの属性データの計 16 ビットとし、3 スタック軸に対するチェーンデータをホスト計算機から立体データメモリに収容する。立体データメモリは 1 軸当り 512 K セルの容量をもつ。

ディスプレイ面の 4 隅に MIC、液晶シャッター眼鏡に SP と傾斜計を取り付け(図 8)、40 KHz の超音波パルスにより MIC と SP 間の伝搬遅延時間を測定する。距離分解能 4 mm である。傾斜計は磁気抵抗素子を用いた無接触ポテンショメータを錘で駆動するもので、頭の左右の傾きを測定する。視点座標は格子間隔 6 mm の座標点で量子化した。

視点計測ブロックでは、周期的に超音波計測による距離データ、頭の傾斜データならびにジョイスティックで指定した基準視点方向データを入力し、視点領域によるスタック軸選択信号を出力してチェーンを選択すると共に、左および右目の座標値を左右の視点データレジスタ群に転送する。更に 10 方向のサブベクトルそれぞれの差分値をレジスタファイルにテーブルとし

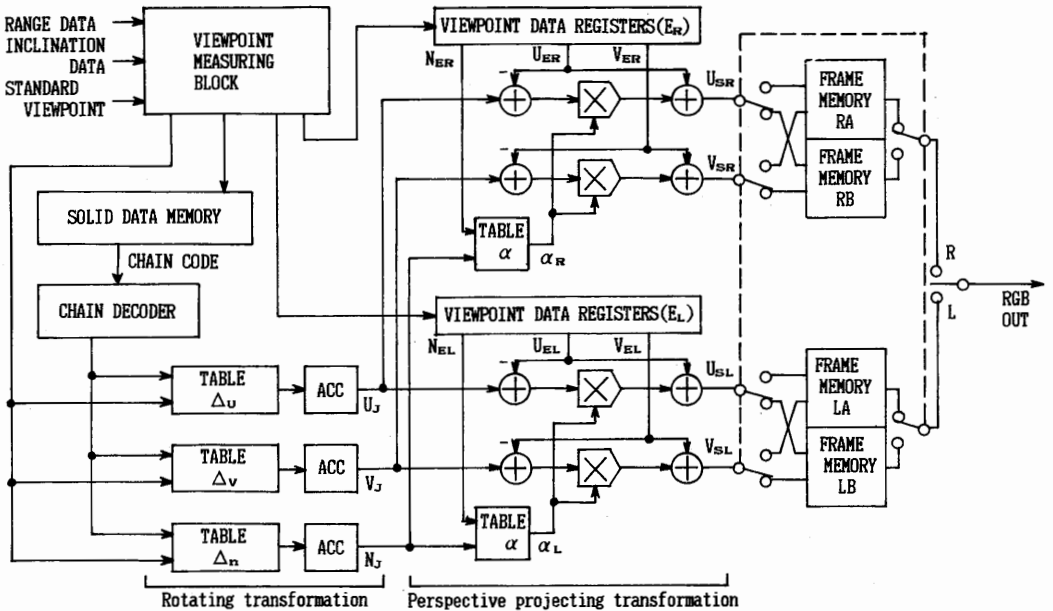


図7 座標変換部およびフレームメモリの構成

Fig. 7 A construction method of coordinate transformation block and frame memories.

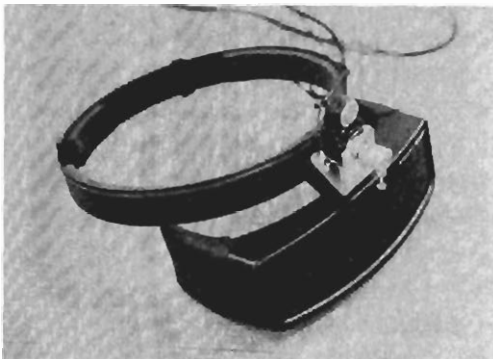


図8 液晶シャッター眼鏡上の超音波スピーカと傾斜計  
Fig. 8 Ultrasonic speaker and inclination meter mounted on the liquid crystal scope.

て書き込む。

回転変換部では立体データメモリから読み出した隣接セル間結合方向サブベクトル符号を解釈し、差分テーブルから差分値  $\Delta_u$ ,  $\Delta_v$ ,  $\Delta_n$  を選択し、それぞれ累加算して回転後のセル座標値  $U_j$ ,  $V_j$ ,  $N_j$  を求め、投影変換部へ送る。投影変換部は左右2系統の演算部があり、視点計測部から送られた視点座標値に基づいて左右のフレームメモリアドレスを並列に求める。式(7)の演算はROMテーブルで、式(8), (9)の演算は加算器と乗算器で構成した。

フレームメモリは描画途中の画像が表示されないように右目用、左目用それぞれAとBの2フレームずつ用意し、A, Bの一方を描画用、他方を表示用とし、1回の計測視点に対する描画が完了した時点でスイッチを切り換え、描画用と表示用のフレームを入れ替える。切り換えは表示走査の水平帰線期間内で行う。描画側に切り換わったフレームは前画像の消去を行った後、前述の描画処理を行う。液晶シャッター眼鏡の切換えと同期して左右1フレームずつ交互に表示する。フリッカ軽減のため、表示フレームレートは120枚/秒とした。試作装置の表示分解能は256×256画素である。

1セルのデータを立体データメモリから座標変換を施してフレームメモリへ転送する間に、①立体データメモリの読出し、②差分値テーブルの読出しと累加算、③投影変換係数  $\alpha$  の読出し、④式(8), (9)の投影変換演算、⑤フレームメモリへの書き込みの5段階の処理を行う。これらはメモリサイクルに合わせた5段のパイプライン処理とした。

XYZ座標は離散的な値をとるので、隣接セル間のチェーンで記述したXYZ座標上のデータをUVN座標へ、更にU'V'座標へ変換したとき、変換後の画素座標上で隣接セル間が連続した画素格子点にならないことがある。格子点の不連続の場合はスクリーン上で飛び越した画素が表示されず、穴のような画素欠落が

起こる。その原因は次の理由により1セル間隔が2画素間隔に量子化されることによる。①XYZ座標の格子間隔1に対して、チェーンサブベクトルの最大長は $\sqrt{2}$ になる。②スクリーンの手前にある立体は投影変換時に拡大投影される。③変換時のデータの誤差の積算による。①、②による画素欠落は、式(4)で $a < \sqrt{2}$ になるように投影面を設定することによって解決できる。但し、表示された画像は元の立体データより解像度が低下する。③を原因とする画素欠落はデータ精度に依存する。同じ方向のベクトルが多数連続した場合、差分値の誤差が累加算器で積算される。最大誤差が投影面の1画素分の誤差に達しないように差分値の精度を設定する必要がある。実験の結果、CRTスクリーン上の画素分解能を $256 \times 256$ 画素にした場合、 $\Delta_u$ ,  $\Delta_v$ ,  $\Delta_n$ の語長を各11ビット(符号1ビット、整数部1ビット、小数部9ビット)、 $U_j$ ,  $V_j$ ,  $N_j$ を各9ビットに設定することで画素欠落は目立たない程度に低下した。

## 6. 実験と考察

数個の立体によって構成される3次元情景を定義し、視点移動に追従するステレオ像表示を試み、運動視差、陰面消去表現状態、実在感などを観察した。各処理段階で汎用のメモリを使用し、サイクルタイム200 nSのパイプラインを構成したので、座標変換速度は500万セル/秒になる。視点移動に実時間で良好に追従し、従来の単なるステレオ像表示よりはるかに高い実在感が確認できた。図9にステレオ像表示例を示す。これはカメラに超音波スピーカを取り付け、2個所の異なる位置から撮影したものである。但し、左目像と右目像は分離されていない。

本表示装置では、ある時刻の視点が計測されてから、その視点に対応した画像が表示されるまでの遅延時間

は、次の各時間の総和になる。

- ① 視点計測時間：10 mS
- ② 視点データ演算時間：20 mS
- ③ 描画時間：

(立体総セル数)×(処理サイクルタイム)

但し、②中に前フレーム画像の消去時間(6 mS)を多重化してある。総遅延時間が大きくなると視点移動に対する像変化の遅れを感じるようになり、実在感が損なわれる。処理サイクルタイム200 nSにおいて、約25万セルの立体情景(遅延時間約800 mS)ではほとんど応答遅れは感じられないが、30万セル以上になると遅延時間に応じて応答遅れが目立つようになる。従って、複雑な3次元情景の表示や高精細化にはより高速な処理が望まれる。

固定したディスプレイで立体を任意の視点から観察するため、ジョイスティックで基準視点方向を指定し、画面上で表示立体を任意方向に回転した上で、視点移動追従をさせた。視点移動追従方式により実在感は向上するが、3次元情景全体が回転してしまうので、実際に物体が置かれている状態を忠実に表現できない。そこで、ディスプレイを方位角および仰角方向に回転する台上に設置し、のぞき窓を観察したい方向に向け、更に観察者自身がのぞき窓をのぞける方向に移動して観察するという状況を作った。この方法では物体が実際に置かれている状態を表現することができるので、実在感を更に向上させることができた。ディスプレイの回転移動は手動であるが、視点移動追従表示を行っているので、表示物体は常に空間上に固定して見える。ディスプレイの視点自動追尾も試みたが、追尾応答遅れや追尾機構のバックラッシュなどで、安定な画像を表示するには問題が多く、また実用的にも自動追尾の必要性は少ないと思われる。

## 7. むすび

本論文では、立体表示における実在感向上のため、両眼視差と共に、視点移動に伴う見え方の変化や運動視差を忠実に表現する一方法を述べた。視点移動追従型の表示には、座標変換ならびに陰面消去に極めて高速の処理が要求される。この解決法の一つとして、立体の可視部分をセルに分解し、一定の規則に従った隣接セル間の相対的な位置関係のチェーンで3次元形状を記述する方法を提案した。この立体形状記述法は、リストプライオリティ方式の陰面消去処理に適合し、かつ座標変換処理中の回転変換処理を相対座標表現に

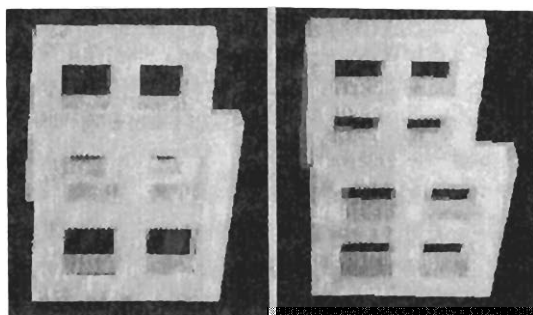


図9 ステレオ像表示例  
Fig. 9 An example of stereoscopic image.

よって簡単化できることから、計測された視点に対する描画処理を簡単なハードウェアで高速に実行することが可能になった。

描画処理は立体データメモリからフレームメモリへのDMAデータ転送中に数段階のパイプライン処理により行う。1セルの描画処理は1メモリサイクル時間で実行できる。メモリサイクル200nSで構成し、500万セル/秒の処理速度を実現したが、より高速のメモリを採用すれば、同一アルゴリズムで数千万セル/秒の処理速度は実現可能と思われる。視点計測から画像表示までの遅延時間が100mSに近づくと、視点移動に対する画像の応答遅れを感じる。従って、より高精細な画像表現や複雑な画像の表現には更に高速の処理が望まれ、並列処理を導入した高速化を検討中である。

表示実験の結果、視点移動追従型ステレオ像表示方式は通常ステレオ像表示方式よりはるかに良好な実在感が得られた。また、任意の視点からの観察のため画像側を回転させず、ディスプレイを可動台上に設置し、表示物体を見掛け上空間に固定して観察者が移動する形式の表示を試み、より高い実在感が得られることを確認した。

現状では実際のシーンの3次元情報の適切な入力手段が未解決なので、コンピュータで生成した像の表示しか実現できなかった。実際のシーンの3次元情報獲得法についてはロボットビジョンなどの分野で研究が進められているので<sup>(9)</sup>、将来はシーンの視点移動追従型立体表示も可能になるものと思われる。

**謝辞** 本研究に当り本学情報機器講座技官福嶋康夫氏ならびに卒業研究を行った卒業生諸氏に装置の試作など多大の協力を頂いた。ここに記して感謝する。なお、本研究の一部は昭和63年度放送文化基金の助成を受けて実施した。

文 献

- (1) 日下秀夫：“3次元情報の基礎”，テレビ誌，41, 7, pp. 604-609 (昭62).
- (2) 平田渥美，鈴木清明：“3次元ディスプレイ”，テレビ誌，41, 7, pp. 610-618 (昭62).
- (3) M. Graham and B. Rogers：“Simultaneous and successive contrast effects in perception of depth from motion parallax and stereoscopic information”，Perception, 11, pp. 247-262 (1982).
- (4) 斎田真也：“運動視差と立体視”，テレビ学技報，12, 11, pp. 7-10 (1988).
- (5) 林部敏吉：“奥行視における運動視差の研究”，テレビ学技報，10, 48, pp. 19-24 (1987).
- (6) S. Fisher, M. McGreevy, J. Humphries and W. Robinett:

“Virtual environment display system”, ACM 1986 Work Shop on Interactive 3D Graphics, North Hill, N. J. (Oct. 1986).

- (7) 内木哲也，所真理雄：“3次元メモリを用いた立体図形表示機構—SCOPE”，信学論(D), J68-D, 4, pp. 741-748 (昭60-04).
- (8) 石井郁夫，五十嵐透，大和淳二，牧野秀夫：“視点移動に追従する立体像表示の一方”，信学技報，IE88-12 (1988-05).
- (9) T. Kanade：“Three-Dimensional Machine Vision”，Kluwer Academic Publishers (1987).  
(昭和63年11月30日受付，平成元年3月6日再受付)



石井 郁夫

昭38新潟大・工・電気卒，昭39新潟大・工・電子助手，昭42同講師，昭46同助教。現在同情報教授。立体画像の表示・入力，音声・画像・図形の符号化などの研究に従事。工博(東工大)，情報処理学会会員。



五十嵐 透

昭62新潟大・工・情報卒，昭64同大学院修士課程了。この間立体画像表示に関する研究に従事。現在セイコーエプソン㈱に勤務。



大和 淳二

昭22東北大・工・電気卒，同年通信省入省，昭56新潟大・工・情報・教授。工博。この間，電子交換方式，画像処理，3次元情報入出力などの研究に従事。日本ME学会，画像電子学会，日本医療情報学会各会員。



牧野 秀夫

昭51新潟大・工・電子卒，昭53同大学院修士課程了。昭54新潟大・工・情報・助手，現在に至る。この間昭58より1年間，情報処理関係内地研究員として北大・応電研・生体制御部門においてマイクロプロセッサを中心とした植込み型除細動器の研究に従事。最近12誘導心電図のデータ圧縮および盲人用教育装置の開発に興味をもっている。工博，日本ME学会，IEEE等各会員。