HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	画像表示システムにおける視覚行動特性利用に関する研究
Author(s)	野中, 秀俊; 伊達, 惇
Citation	北海道大學工學部研究報告, 148, 83-89
Issue Date	1989-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42204
Type	departmental bulletin paper
File Information	148_83-90.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学工学部研究報告
第148号（平成元年）

Bulletin of the Faculty of Engineering,
Hokkaido University, No. 148 (1989)

画像表示システムにおける視覚行動特性利用に関する研究

野中　秀俊　　伊達　　惇

（平成元年7月25日受理）

A Study of the Application of Visual and Behavioral Properties to Image Display Systems

Hidetoshi NONAKA and Tsutomu DA-TE

(Recieved July 25, 1989)

Abstract

We developed an image display system with properties of binocular vision and motor vision. The properties enable users to obtain 3-D information through a single video monitor in real time. Users are not requimed to practice in order to master the properties beforehand. And then they are available to improve the utility of display systems in the sense of human-interface.

The binocular vision is realized by means of two video cameras and a pair of liquid crystals. Two images from video cameras — one is for right eye and the other for left eye — are displayed alternately on CRT display which users observe through liquid crystal optical with synchronous opening and shutting.

The motor vision is realized by means of a stepping-motor and supersonic sensors. Supersonic generating element is attached on operator's head and the supersonic wave from it is received by a pair of receiving elemetents attached to the above CRT. From the phase difference of two waves, the right-left motion of operator's head is evaluated, which specifies the corresponding motion of two video cameras.

We discussed the geometric distortion of 3-D image constructed by binocular and motor vision. The distortion is reduced by means of appropriate position arrangement of both video cameras and CRT display.

1．はじめに

近年，無人工場における遠隔監視や，自動認識ロボットの保守，移動ロボット操作の補助など，ビデオ画像を通して，より正確な空間情報を得る手段が必要となってきている。人間の視知覚情報には，空間認識の手がかりとなる様々な情報が含まれているが，従来のビデオ画像においては，形状による遠近感や，陰影，光沢，力学の知識，特定の物体の大きさに関する知識などが，空間認識の手がかりとなっている。そのため，空間情報の中でも特に奥行の情報をビデオ画像から得るために，従来は様々な角度から撮影したビデオ画像を複数のモニターで観察するという手段が主に採用されていた。しかしこのような方式の場合，視線方向を頻繁に動かすことが観察者に要求されるため，疲労しやすく誤操作を伴いやすいことや，操作が複雑で慣れるまでに訓練が必要

であることなど，ヒューマン・インタフェースとしての問題点が多かった。このような要求に応えて，両眼視を応用したビデオ監視システムやビデオカメラの移動制御に関する研究が多数見られるようになった。しかしこれらは，表示される立体像の幾何学的な歪みを考慮していないため，必ずしも空間認識の効率を向上させているとは言えず，また高価な位置計測装置や特殊なディスプレイ装置など大掛かりなシステム構成が必要であるという問題点を有する。

本研究ではこれらの問題点を解消すべく，空間認識に有効な情報として，両眼視および運動視の機能を同時にビデオ画像に付加する試みを行った。両眼視や運動視の機能は人間の自然な視知覚機能であり，特別な訓練を必要としない。様々な角度からのビデオ画像を複数のモニターで観察する方式に比べて，疲労が軽減されていること，空間情報を実時間で獲得できること，熟練を必要としないことなどの性質があり，ヒューマン・インタフェースとしての機能の向上が実現される。本研究で開発したビデオ表示システムは，撮影と立体像の表示を撮影空間から表示空間への写像として定式化し，それに従って撮影・表示機器の配置を調整することにより，空間歪みの少ない立体像の表示を実現している。観察者の左右の移動量を計測し，2台のビデオカメラをこの移動量に合わせて単一自由度で移動制御するという方式を採用しており，超音波センサ，液晶シャッタ，ステッピングモータなど近年普及し始めた諸技術を利用することによって，パーソナルコンピュータを中心においた簡便なシステム構成になっている。また実時間で立体像表示ができるので，移動物体の遠隔監視やロボットの遠隔操作など，動的な作業への適用が可能である。

2．両眼視・運動視機能を応用したシステムの構成

図1にシステムの構成を示す。被写体の撮影はステッピングモータで移動制御される水平に並べられた2台のビデオカメラによって行う。2台のビデオカメラは，それぞれ観察者の左右の眼に対応している。2台のビデオカメラからの映像を，CRT 画面におよそ 1/60 秒間隔（フィールド毎）で交互に表示し，左右の映像をこの表示と同期して開閉する光学シャッタ（TN 型液晶）によって，観察者の左右眼にそれぞれ分離して導く。これにより観察者は両眼立体視を行うことができる。2台のビデオカメラ配置の設定については，次節で述べる。

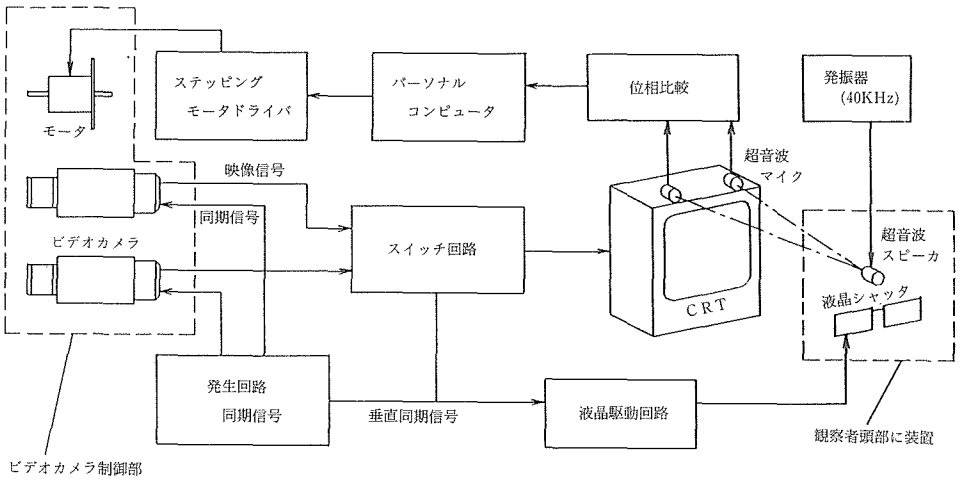

図1　システムの構成

観察者の左右の移動量を超音波センサとパーソナルコンピュータによって計測し，ステッピングモータによってその動きにあわせたビデオカメラの移動を行う。これにより，観察者は運動視による立体視ができる。観察者が左右に回り込みの動作をすることによって，正面からでは視野の範囲に含まれない部分を観察することができ，CRT 画面を見ながら，あたかも窓から外を見ているような感覚でビデオ画像を観察することになる。運動視の機能を付加すると，このような回り込みの動作が可能になるだけでなく，CRT 画面の正面のごく狭い範囲であっても，観察者が目の位置を動かすことによって，奥行が異なる物体間の前後関係をただちに知ることができる。

3．ビデオカメラおよび CRT の配置と移動制御

3.1　撮影系と表示系のモデル

図 2 に示す撮影系と表示系のモデルは，ビデオカメラや CRT ディスプレイの実際の配置の設定をパラメータによって記述するためのモデルである。以下に各パラメータの設定の手順を示す。

① 観察者と CRT ディスプレイとの距離 λ を，被写体と映像の見掛け上の大きさが等しくなるように設定する（注，CRT ディスプレイの大きさに応じて，λ の値が変化する。）

② $L=\lambda$　とする（2 台のビデオカメラの光軸の交点を座標$(0,\ \lambda)$に固定する）。

③ $E=\varepsilon$，$M=\mu$ とする（2 台のビデオカメラの位置関係と観察者の両眼の位置関係を一致させる）。

本研究では各パラメータの値を以下のように設定した。

［L, λ：88cm, E, ε：7cm,　(CRT ディスプレイの大きさ：20 インチ)］

3.2　観察者の左右の動きの計測

観察者の頭部に超音波スピーカを装着する。このスピーカから発する送波(40kHz)を CRT の上部に水平方向に一定間隔で取り付けた 2 つの超音波マイクロフォンで受ける(図 3)。パーソナルコンピュータでそれらの位相差を計算し，さらに観察者の左右の動きを計算する。観察者の左右の移動量を μ とすると，位相差 ϕ は次式で表される。

$$\phi=(2\pi f/c)\left(\sqrt{(u+\delta/2)^2+\lambda^2}-\sqrt{(u-\delta/2)^2+\lambda^2}\right) \tag{1}$$

超音波の中心周波数：$f=40kHz$

超音波の速度　　：$c\fallingdotseq 331.5+0.6t$ ［m/sec］（但し t ［℃］は気温）

2 つの超音波マイクロフォンの間隔：$\delta=10cm$

観察者の左右の移動だけでなく前後の移動を許した場合，位相差が ϕ のとき，観察者の位置として可能な座標の軌跡は，以下に示すような曲線となる。

$\rho=(c/2\pi f)\,\phi$　　として，

$$\begin{pmatrix}\xi(\theta)\\ \eta(\theta)\end{pmatrix}=\frac{\delta^2-\rho^2}{2}\frac{1}{\delta\sin\theta-\rho}\begin{pmatrix}\sin\theta\\ -\cos\theta\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}\delta/2\\ \lambda\end{pmatrix}\quad(0<\theta<\pi/2) \tag{2}$$

ここで $\eta(\tilde{\theta})=0$ となる $\tilde{\theta}$ をとることによって，$\mu=\xi(\tilde{\theta})$ として観察者の左右の移動量を得る。

3.3　ビデオカメラの移動制御

2 台のビデオカメラの光軸方向の交点を，撮影系における座標$(\lambda,\ 0)$に固定するために，図 5 に示すような機構を採用した。前方と後方の台車の移動距離比を正しく設定することにより，2 台のビデオカメラを，所定の方向に向けることができる。本試作では，二台の台車にラックを固定し，これらを駆動する前後二つのギヤのモジュールを変えることによって，台車の移動距離比

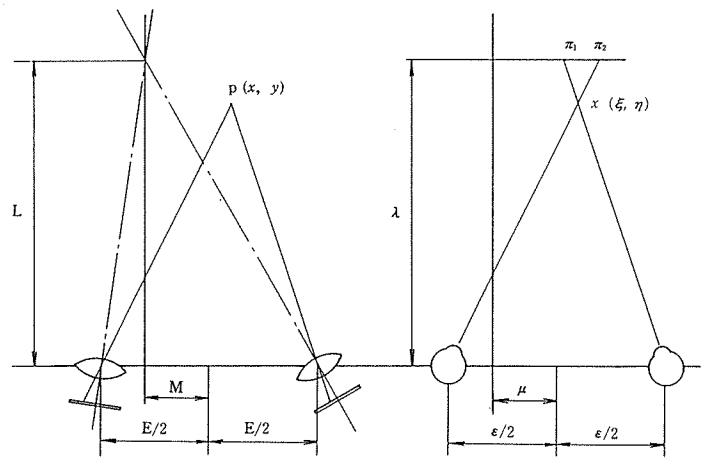

図2 撮影系と表示系のモデル
E ：二台のビデオカメラ間の距離
L ：二台のビデオカメラの光軸の交点までの距離
M：ビデオカメラの左右の移動量
P(x, y)：撮影系における点
ε：観察者の両眼間隔
λ：CRT ディスプレイから観察者までの距離
μ：観察者の左右の移動量
$\pi_1(\xi_1, \lambda)$：P の右眼像
$\pi_2(\xi_2, \lambda)$：P の左眼像
$\pi(\xi, \eta)$：P からの表示系における対応点

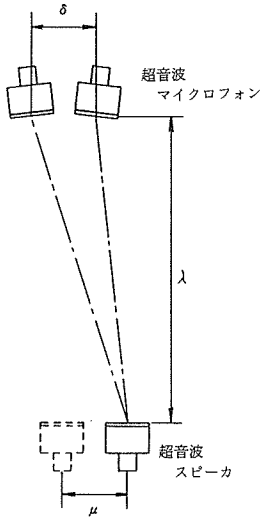

図3 超音波センサによる観察者の移動計測
λ：*CRT* ディスプレイから観察者までの距離
（スピーカーからマイクロフォンまでの距離）
μ：観察者の左右の移動量
（スピーカの左右の移動量）
δ：超音波マイクロフォン間の間隔

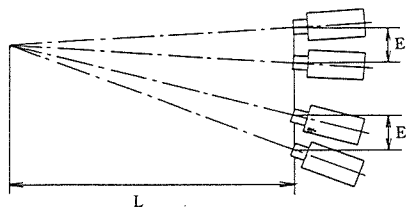

図4 ビデオカメラの移動方式
E ：二台のビデオカメラ間の距離
L ：二台のビデオカメラの光軸の交点までの距離
M：ビデオカメラの左右の移動量

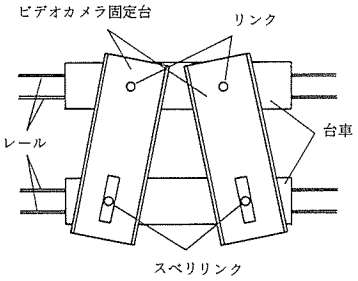

図5 ビデオカメラの移動装置の構造

を調整している。台車の移動速度は現在最大毎秒 30cm 程度であり，観察者の通常の移動への追従が可能である。

4．本方式における撮影系・表示系の配置設計と立体像の歪みの補正

撮影系の空間における各点は，撮影によって左右眼に対応した二点に表示され，表示系の空間における対応点は，この二点と左右眼を結ぶそれぞれの視線の交点として与えられる。このようにして，撮影系から表示系への写像が定義される。表示系が撮影系を忠実に再現するためには，理想的にはこの写像が恒等写像になることが望ましいが，一般には恒等写像からのずれが生じる。以下このようなずれを，立体像の歪みと呼ぶことにする。なお観察者の動きは左右だけで，上下や前後の動きは無いものとしている。

本節では，簡単のため撮影系の空間のうち，二台のビデオカメラと同じ高さの水平面上の各点から表示空間への写像を定義し，その写像の様相を図示することによって，本方式を採用することにより実現される立体像の歪みの補正について述べる。

4.1　撮影空間から表示空間への写像の定式化

撮影系における一点 $P(x, y)$ が画面上に表示されるときの右眼像と左眼像の x 座標をそれぞれ ξ_1, ξ_2 とすると，それらは，以下の式で表される。

$$\xi_1=\frac{\lambda}{L}\sqrt{(M+E/2)^2+L^2}\,\frac{L(x-(M+E/2))+(M+E/2)y}{Ly-(M+E/2)(x-(M+E/2))} \tag{3}$$

$$\xi_2=\frac{\lambda}{L}\sqrt{(M-E/2)^2+L^2}\,\frac{L(x-(M-E/2))+(M-E/2)y}{Ly-(M-E/2)(x-(M-E/2))} \tag{4}$$

表示系における，被写体の像を $\pi(\xi, \eta)$ とする。π の座標は，左右眼の視線の交点として求められ，以下のように表される。

$$\xi=((\mu+\varepsilon/2)\,\xi_2-(\mu-\varepsilon/2)\,\xi_1)/(\varepsilon-(\xi_1-\xi_2)) \tag{5}$$

$$\eta=\lambda\varepsilon/(\varepsilon-(\xi_1-\xi_2)) \tag{6}$$

立体像の歪みは，撮影系における一点 $P(x, y)$ から表示系における対応点 $\pi(\xi, \eta)$ への写像によって表現されることとなる。

4.2　表示システムに両眼視機能を追加する際の立体像の歪みの補正

遠隔監視システム等に表示システムを応用する際，表示される立体像が元の空間をできるだけ正確に再現することが必要であるが，従来の両眼視を応用した表示システムにおいては，二台のビデオカメラの方向の設定の仕方に起因して，不自然な立体像が形成されてしまう現象がよく見られる。例えば 2 台のビデオカメラを平行に配置した場合，無限遠点に対応する像が左右のカメラで一致するため，表示系における対応点が CRT 画面上に乗ることになる。その結果，立体像は，奥行方向に著しく圧縮されたものとなる。ビデオカメラを用いた両眼視ビデオ画像に特有な現象としてよく知られる「ボール紙効果」は，このような状況に相当すると考えられる。図 6 にこの場合での写像の様相を図示する。(a) は，撮影系においてビデオカメラと同じ高さの平面を格子状に区切り，上から見た図である。この格子で区切った平面が，表示系にどの様に写像されるかを，(b) に図示している。ただし，画面上の左右眼像は式(3)，(4)において $L\to\infty$ として，

$$\xi_1=\lambda\,(x-(M+E/2)/y,\quad \xi_2=\lambda\,(x-(M-E/2)/y \tag{7}$$

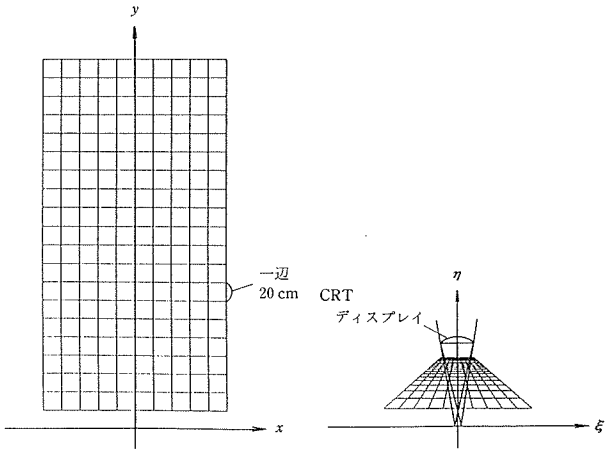

図6　ビデオカメラを平行に配置した場合の撮影系から表示系への写像

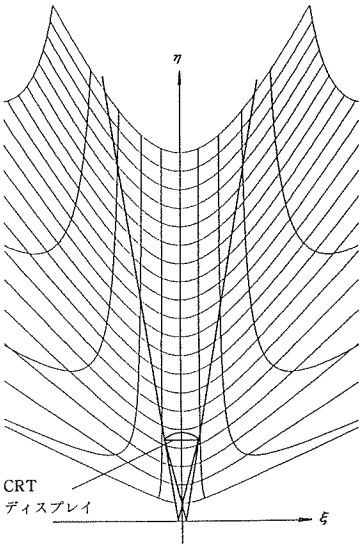

図7　ビデオカメラの光軸方向を調整した場合の撮影系から表示系への写像
($L=\lambda$, $M=\mu=0$)

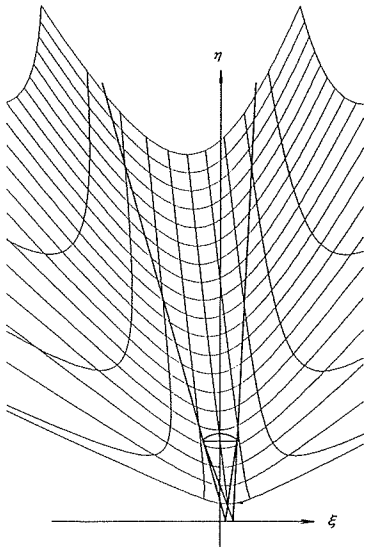

図8　ビデオカメラを移動しない場合の撮影系から表示系への写像($L=\lambda$, $M=0$, $\mu=10$)

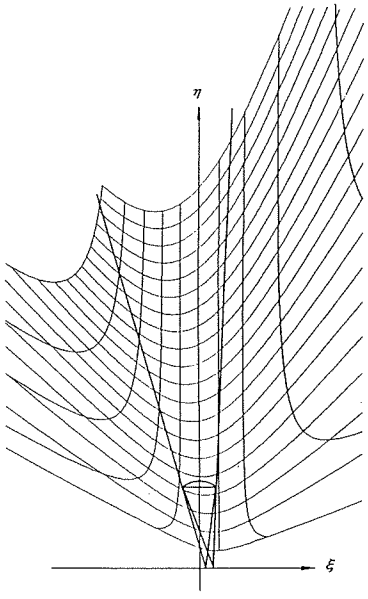

図9　ビデオカメラの移動制御を行った場合の撮影系から表示系への写像
($L=\lambda$, $M=\mu=10$)

とおいた。

上の例で述べたように，ビデオカメラの方向を適切に設定することが必要である。本方式では，図2においてL=λとしてビデオカメラの方向を定めた。図7にこの場合の写像を図示する。特にCRT画面の中央に近い領域における歪みが小さいということが，図から読み取れる。このことは，実用上観察者の視線が集中する領域で，空間情報が保存されていることを表している。

4.3　両眼視機能をもった表示システムに運動視機能を追加する際の立体像の歪みの補正

ビデオカメラの移動制御を行わず，座標(L, 0)にビデオカメラの向きを固定した状態で観察者が左右に動いた場合，表示される立体像が変形するように知覚される。これは，通常の空間を観察する場合，観察者が左右に回り込めばそれに伴って，像が回転するはずのところが，画面の像が回転しないために生ずる現象である。このことは，図8において奥行方向の直線が斜に傾いていることに対応する。本方式では，M=μとしてビデオカメラの移動制御を行ったが，この場合上記のような立体像の変形が知覚されなくなる。図9にこの場合の写像の様相を示す。撮影系における奥行方向の直線が，表示系においても奥行方向に伸びていること，観察者が回り込みの動作を行なうことにより，左側の新たな空間が見られるようになっていることが，図から読み取れる。

5．ま　と　め

本研究では，ビデオ画像表示システムに両眼視および運動視を導入する試みを行った。これは，近年ビデオ画像を通して，より正確な空間情報を得る手段が必要となってきていることに応えたものであり，ヒューマン・インタフェースとしての機能の向上を実現するものである。幾何学的な方法で撮影機器・表示機器の配置の設定を行うことにより，歪みの少ない立体像が得られた。また超音波センサによる距離計測技術，ステッピングモータによるビデオカメラの移動制御技術を利用することにより，パーソナルコンピュータを中心とした簡便なシステムとして構成することが可能となった。現在，実際の監視作業における両眼視・運動視機能の効率評価，観察者の上下・前後の移動に対するビデオカメラの移動制御，観察者の移動速度に対するビデオカメラの追従度の評価などが，今後の課題として残されている。

参考文献

1）広瀬　他：人工現実感を利用した三次元空間内作業用マンマシンインタフェース，SICE第4回ヒューマンインタフェースシンポジウム，pp201-206,1988
2）広瀬：空間知覚と認知工学，計測と制御，Vol 21, No. 1, pp43-48, 1988
3）館　他：テレイグジスタンスの研究，日本ロボット学会第3回学術講演会，1985
4）野中，伊達：単眼運動視知覚特性を応用したビデオ画像表示方式，第21回SICE北海道支部大会学術講演会，1989
5）野中　他：時分割立体図形表示における画像歪みの影響とその補正，第5回バイオメカニズム学会学術講演会，1984
6）野間　他：回り込み動作に対応した立体映像表示システムの開発，SICE第4回ヒューマンインタフェースシンポジウム，pp207-210, 1988