

〔非公開〕

TR-C-0057

臨場感通信のための
高速画像生成表示法の研究計画

佐藤 隆宣
TAKANOBU SATOH

伴野 明
AKIRA TOMONO

岸野 文郎
FUMIO KISHINO

1990.9.26

A T R 通信システム研究所

臨場感通信のための高速画像生成表示法の研究計画

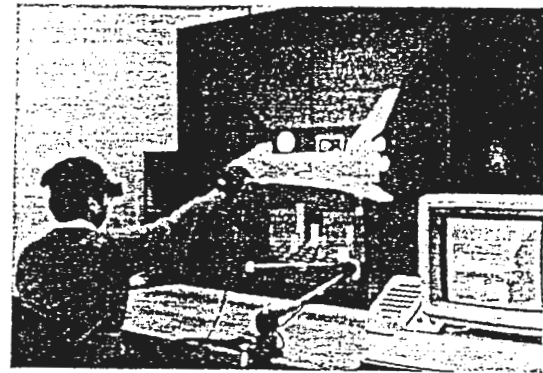
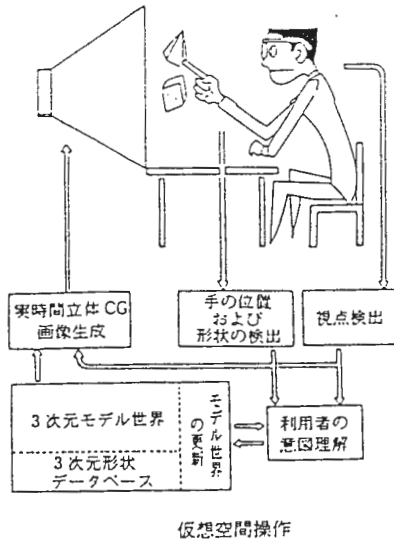
目次

1.	まえがき	-----	1
2.	仮想空間操作	-----	2
3.	高速画像生成表示技術の現状	-----	3
	3.1	高速グラフィックワークステーション	3
	3.2	光線追跡法の高速化	4
	3.3	CGのための高速補間法	4
	3.4	適応的なデータベースの作成	5
4.	研究を進めるにあたって	-----	7
5.	研究計画	-----	7
6.	当面の研究内容	-----	8
7.	あとがき	-----	9
	参考文献	-----	9

1. まえがき

遠隔地にいる人々があたかも同一空間に居て作業できるようにするためヒューマンインタフェース部に仮想空間を想定した臨場感会議システムを提案している[1]。その表示技術として、広視野、高精細、立体表示、運動視表示の実現が望まれる[2]。仮想空間を作成するには、CGを用いる手法と、カメラ画像を用いる手法が考えられる。カメラ画像の場合、広視野、高精細化は、容易に実現できるが、運動視表示や仮想空間操作による表示物体の移動は非常に困難である。一方、CGの場合、現実の物体を写真で撮ったように描けたり、その表裏を自由に表示したりできるまでに技術が進歩している。また、表示物体の移動は、一度表示モデルを定義しておけば座標変換のみで容易に実現できる。広視野、高精細表示は、表示物体のきめ細かいサンプルリングによって、また、物体の質感の再現は、光線追跡法、ラジオシティ法、シェーディング法等によって各々達成できると考えられる。以上、仮想空間生成にとってCGは都合が良い点が多い。しかし、問題となるのは、CGで広視野、高精細化を図る場合に写実性を高めればそれだけ処理時間が増大し、運動視表示、仮想空間操作時に遅れを生じ、使用者にとって使いにくいものとなる点である。従って、広視野、高精細表示の写実性を保ちつつ、リアルタイムな画像生成表示手法の研究開発が望まれている。本稿では、仮想空間生成に必要な高速画像生成表示法の研究計画について述べる。計画は、(1)表示遅れの許容時間の把握、(2)高速CGのアルゴリズムの研究からなる。

2. 仮想空間操作



仮想空間操作の例

Fig.1 仮想空間操作システム構成図と実際の使用状況

Fig.1にCGを利用した仮想空間操作システムのブロック図とその使用状況を示す。本システムでは、観察者の視点位置を磁気センサで計測し、その視点位置に対応した画像を高速度グラフィックワークステーション（IRIS 4D/240GTX）を用いて作成し、70inchプロジェクタに表示する。表示画像は、単眼視像、または、両眼立体視像のいずれかを選択できる。両眼立体表示する場合、眼の左右用画像表示と同期させた液晶シャッターメガネを装着しなければならない。また、磁気センサを付けたデータグローブで手の位置、形状を検出しており、利用者が、仮想空間内の物体をデータグローブを装着した手で操作することもできる。本システムを用いて仮想空間操作を行った結果以下の問題点が判明した。

(1) 左右画像の表示時間差による疲労

両眼立体視表示は、ディスプレイに眼の左右に対応した画像を1/120[sec]ごとに切り替えて表示し、それに同期して左右のon/offを切り替える液晶シャッターメガネをとおして得られる。従って、実在する物体では左右の眼に同時に映るものが本手法による両眼立体視表示では時間がズレて左右の眼に映るために長時間使用すると利用者が疲労感を覚える。

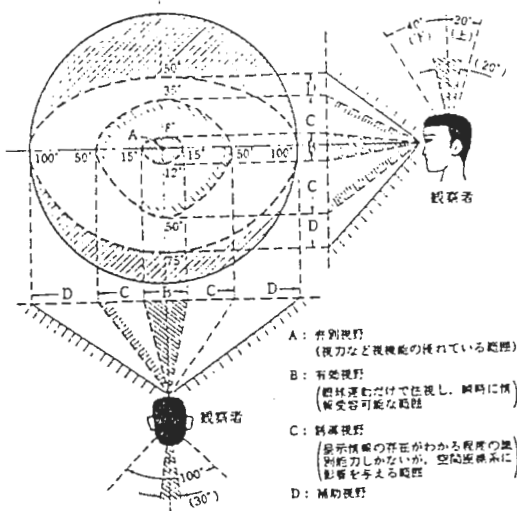
(2) 運動視の表示遅れ

本システムでは視点位置、手の位置を計測してそれに対応した画像を生成表示する。視点位置計測から画像表示までの遅れについてはカメラ画像に関しては70[msec]を越えると遅れを感じるという報告があるが[3]、CG画像については定量的には調べられておらず画像の高精細化、複雑度がすすむにつれて表示の高速化が要求されると考えられている[4][5]。

(3) 写実性の向上

両眼立体視、運動視表示を行うことにより立体感は向上したが、現状ではまだ現実の物体を見た場合とは異なる“CGらしい画像”といわれる人工的な画像である。写実性を高めるには高精細化を図り、高速で且つ質感を向上するためのCG手法を研究開発しなければならない。

(4) 広視野化



仮想空間操作を行う場合に実空間と仮想空間のインタフェースがディスプレイである。ディスプレイを実空間から仮想空間を覗く窓と考えるならばディスプレイの枠が利用者に感じられてもかまわない。しかし、利用者にディスプレイを見ていると感じさせない仮想空間を実現するためには人間の視野を考慮した広視野角のディスプレイを用いなければならない。Fig. 2 に人間の視野角の視覚特性を示す。臨場感を与える誘導視野角は、左右50度、上35度、下50度である。

Fig. 2 視野内の情報受容特性

(5) 触覚、圧覚情報のフィードバック

データグローブを装着した手で仮想空間内の物体を操作する場合、物体と手の接触情報、物体の状態(硬度、温度、肌触り等)を視覚情報からしか得られない。利用者の手に、触覚、圧覚情報を与えれば、操作精度が大幅に向上し[6]臨場感が高まると考えられる。

ここでは、(2)(3)の課題について研究を進めていく。

3 高速画像生成表示技術の現状

2. で仮想空間操作システムにおける課題を列挙したが(2)、(3)の課題についての対策である高速画像生成表示技術の現状を把握する。

3.1 高速グラフィックワークステーション

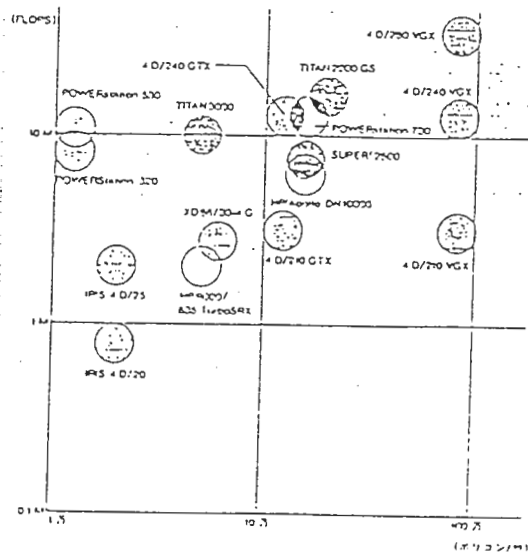


Fig. 3 グラフィックワークステーションの性能相関図

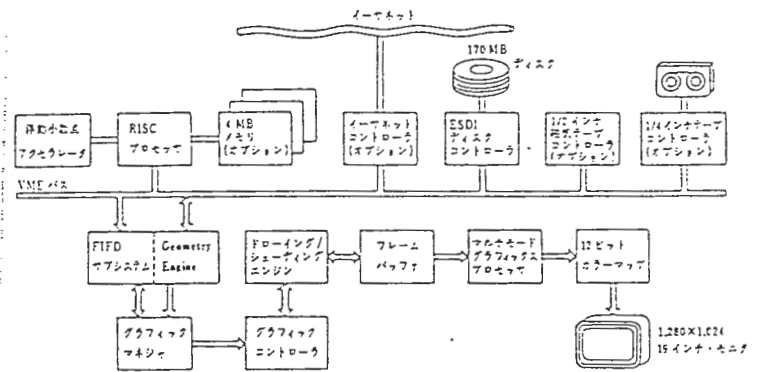


Fig. 4 IRIS 4D シリーズのアーキテクチャ

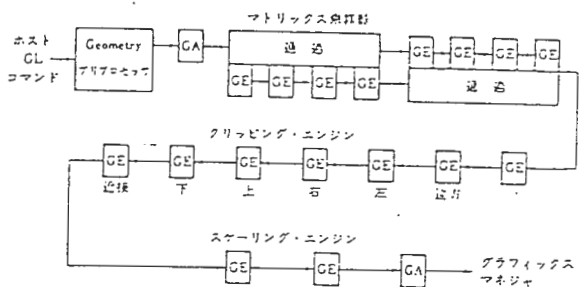


Fig. 5 IRIS のパイプライン処理

Fig. 3に各社の3次元グラフィックワークステーションの性能相関図を示す。ここでは、性能比較上最高速のIRIS/4Dシリーズ(以下IRIS)について略説する[7]。また、Fig. 4にIRISのシステム構成を示す。Fig. 4よりCPUとグラフィックシステムを明確に分離していることがわかる。機能的に分けられたサブシステムには、Silicon Graphics Computer System社(SGI社)のVLSIプロセッサが含まれている。IRISの高速グラフィック処理を可能にしたのは、SGI社のVLSIの一つGeometry Engine(GE)を用いて回転、平行移動、投影変換、クリッピング、拡大、縮小等の浮動小数点幾何演算をハードウェアによりパイプライン処理化したことによる(Fig. 5参照)。照明を平行光に限定した場合には多面体のリアルタイム表示が可能であるが、質感向上のための光線追跡法、シェーディング、テクスチャマッピング等を用いるとリアルタイム表示できない。

3.2 光線追跡法の高速化

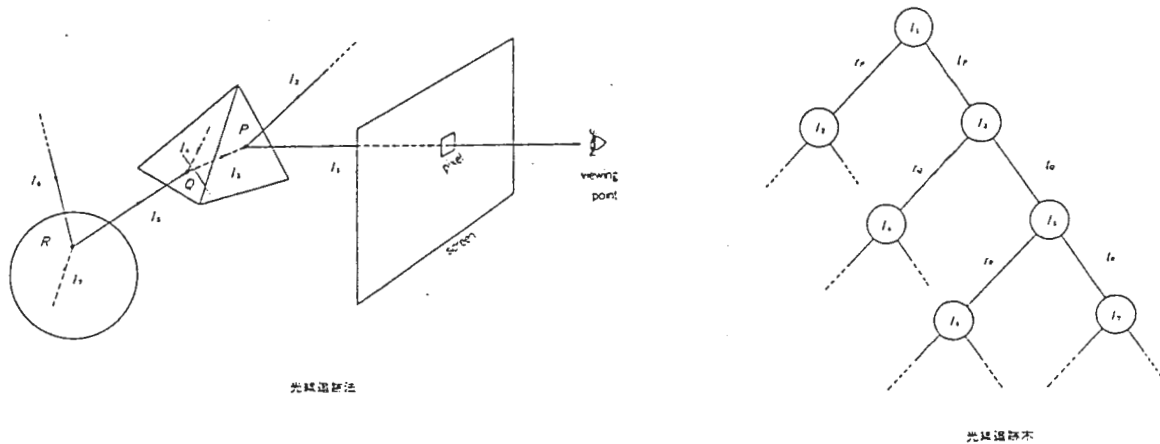


Fig. 6 光線追跡法と光線追跡木

光線追跡法は、視点に到達する光の強度を物体表面での反射や屈折を忠実に再現しながら視点から逆向きにたどることにより求めるものである(Fig. 6参照)。光線追跡法を用いれば透明または金属状の物体は、非常に写実的に描くことができる。しかし、光線追跡法は、原理的に計算時間が膨大になる問題があり、その高速化を主目的とした装置の研究開発が行われており、LINKS-1、2[8][9]、CAP[10]、MC-1、SIGHT[11]等が発表されている。いずれも、実時間動画像作成に対応するには、処理能力が不十分である。一方、ソフトウェアによる高速化法としては、投影面上でのコヒーレンス性[12]と物理空間でのコヒーレンス性[13]を利用したものが報告されている。また、アニメーションにおいて連続するフレーム間での変化はわずかなことから、このフレーム間コヒーレンスを利用した高速化法も提案されている[14]。

3.3 CGのための高速補間法[15]

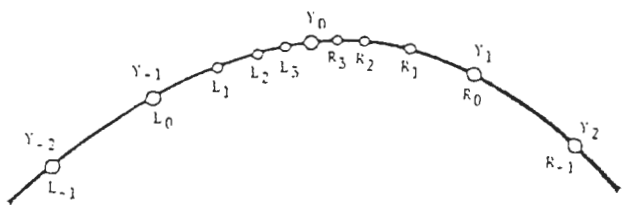
CGに用いられるCRTのピクセル数は512×512から2048×2048まで増加し高解像度の画像表示が可能になってきた。通常は、データを広い間隔で与えて補間法等を適用して狭い間隔のデータを生成する。ピクセル数が増加すると補間に要する計算時間が長くなる。従って、CGにおいて解像度の高い画像を高速に発生するには補間に要する処理時間の短縮が必要である。そこで、ハードウェア化への適用性と並列演算性を考慮して、浮動小数点演算を避けて整数型演算で行う補

間法が提案されている。そのアルゴリズムを以下に略説する。計算機内で生成されたデータを順に並べて点列 $\{x_i, g(x_i)\}$ を構成する。各 x_i に既知データ $g(x_i)$ が対応する。区間 $\Delta_i = [x_i, x_{i+1}]$ を補間区間とし、 Δ_i にある任意の点を P_i とする。データ点列 $g(x_i)$ が与えられたとき点 P_i における補間値を $f(P_i)$ とする。補間区間の周辺にある数個のデータに基づいて補間曲線を決定すると効率的に補間値の振動現象を抑圧することができ、視覚的に自然な補間曲線が得られる。補間区間の中間点 P_i における補間値は、

$$f(P_i) = [g(x_i) + g(x_{i+1})] / 2 + [g(x_i) - g(x_{i-1}) + g(x_{i+1}) - g(x_{i+2})] / \alpha$$

$\alpha = 2$ の n 乗 i, n は整数

n は補間誤差が最小になるように決める。曲線補間のサンプル例を Fig. 7、Fig. 8 に示す。Fig. 8 に示す丸印は 30 度ごとに与えられたスパイラル曲線の離散データである。これらのデータ点に本補間法を適用して補間データを生成すると太線で示すスムーズなスパイラル曲線が得られる。今後、具体的にどの様にハードウェア化、並列処理化を図るかが課題である。



既知データ点に直接補間法を適用して得られる補間点列

Fig. 7 高速曲線補間アルゴリズム

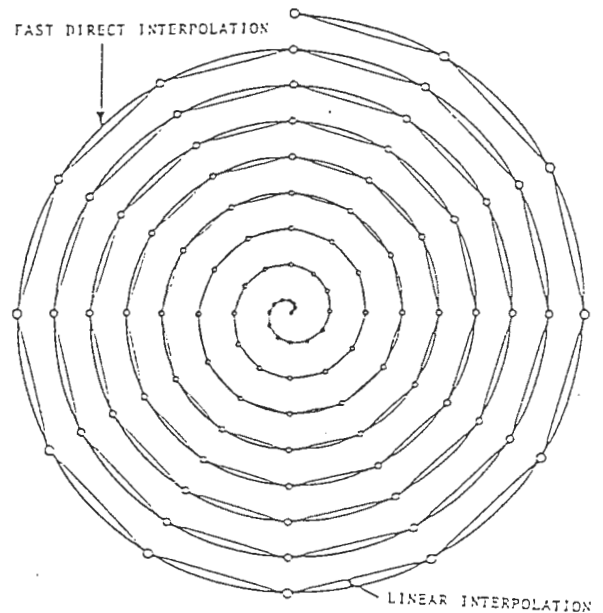


Fig. 8 曲線補間例 一

3.4 適応的なデータベースの作成

表示装置の分解能に合わせて合理的に画像を生成するためには、視点近くの物体は精細に、遠方の物体は粗くモデル化し、スクリーンに透視投影した場合に構造点の間隔が同程度になるようにすればよい。また、注視点からはずれた周辺視領域では視力が大幅に低下することを考慮してモデルの精細度に重みを付けることも考えられる。このように観察者の状況に応じてモデルを選択することにより、物体の高精細度を与えつつそのサンプル点数を減少できるので、高速表示が可能になると提案されている [2]。

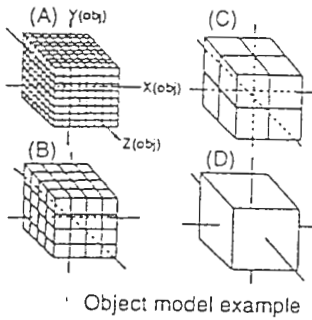


Fig. 9 対象物体モデル

3.4.1 視点からの距離を利用

精細度の異なった同一物体のモデルをFig. 9に示す。視点から表示対象までのワールド座標系における距離をパラメータとして精細度が階層化された同一物体のモデルを選択する。その画像生成表示法をFig. 10に示す。obj1、2は同一物体で、obj1は視点の近くに、obj2は遠くにある。視点からの距離によりobj1はFig. 9のモデルC、obj2はモデルDを選択する。これをスクリーンに透視投影すれば、h-obj1(0)、h-obj2(0)のような画像が得られる。

3.4.2 視線からの距離を利用

視点からの距離が同じ場合、視線からの偏角が網膜上の中心かからのずれの大きさに対応する。中心かからずれた部分では光学的なぼけや視細胞の機能の違いから視力は低い。そこで、視点からの距離に加え、表示物体を定義する対象座標系の原点から視線に下ろした垂線の長さによりモデルを選択する。その画像生成表示法をFig. 11に示す。

3.4.3 視点位置の予測表示

人間の視力は、眼球が運動物体をスムーズにいかけ物体を中心かに捕らえる随従運動する場合に低下が少なく表示遅れにたいしても敏感になると考えられる。そこで視点の動きを予測し、その位置に対応した画像をあらかじめ用意しておくことにより高速表示が可能となる。Fig. 10のh-obj1(+1)、h-obj2(+1)に視点位置(0)時に視点位置(+1)に所定時間後移動すると予測した場合の予測表示モデルを示す。

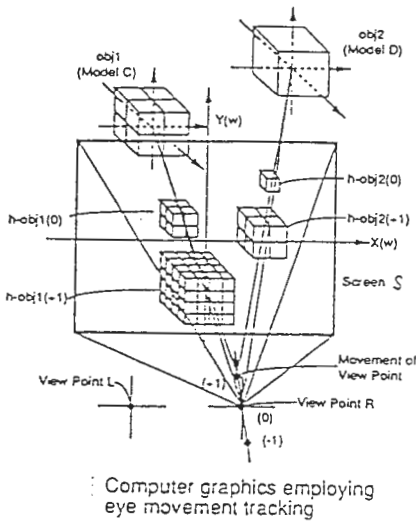


Fig. 10 視点を利用した階層モデル化

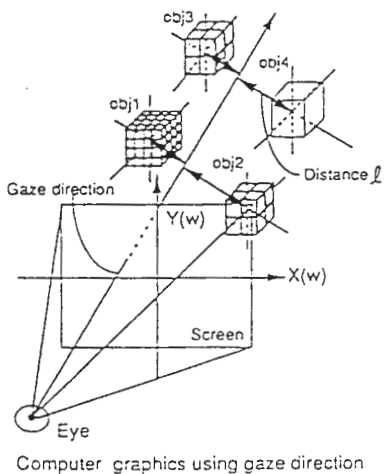


Fig. 11 視線を利用した階層化モデル

4. 研究をすすめるにあたって

高速画像生成表示法の研究は、前節で述べた様にさまざまなアプローチで進められている。ここでは、臨場感会議のための仮想空間生成における高速画像生成表示法について考えていく。表示目標として、(1)、(2)、研究を進める条件として、(3)、(4)、(5)を設定する。

- (1) 頭部、視点、視線の動きに正確に対応した表示をすること
- (2) 対象物体の移動、変形を行う場合、正確に操作処理結果を表示すること
- (3) 現プロトタイプシステムに容易に組み込み、又は、拡張できること
- (4) 実時間処理で画像生成表示できること
- (5) ハードウェアに依存しないこと

5. 研究計画

高速画像生成表示へのアプローチとして、3. で見てきた通り種々の手法がある。ここでは、3.4の適応的なデータベース化による高速表示に焦点を当てて課題を抽出する。又、研究計画については、Fig. 12 に示す。

(1) 像変化遅れのタスクへの影響の定量的把握

一般に、視点の位置に応じた画像を表示させる画像表示装置では、観察者に感じないほど高速表示する必要もないが、逆に、違和感を与える程の遅れがあってもいけない。視点位置を計測してから、それに対応する画像を表示するまでの遅れの許容時間は、60 - 130[ms]と言われている。[14] この結果は、単純な視点の移動を行った場合の主観評価である。仮想空間操作におけるより複雑なタスクを行う場合の像変化の遅れ許容時間はより厳しいものと考えられる。像変化の遅れ時間とタスクへの影響を定量的に調べ、像変化遅れの許容時間を求める。

(2) 頭部、視点の移動特性の把握

仮想空間操作に限定し、タスク内容を決めた場合の頭部、視点の位置、移動速度、加速度等を調べる。

(3) 予測表示効果の確認

人間の頭部、視点の動きは、複雑、ランダムである。その動きを完全に正確に予測することは難しい。しかしながら、簡単な頭部、視点の移動（等速並進運動、上下運動等）を行うと限定するならば、簡単なアルゴリズムで予測可能である。その場合の予測表示効果を調べ、予測表示の有効性と課題、精度をより具体的に把握する。

(4)移動予測アルゴリズムの確立

(2)により得られた頭部、視点の移動特性を分析し移動予測アルゴリズムを考案する。

一般に、ある信号の分析を行う場合、その信号がどういう対象からどのような条件のもとで得られたものなのかの知識がある場合が多い。このような信号の属性に関する知識を取り入れて、信号の生成課程をモデル化し、そのモデルに基づいて信号を予測する。また、正確に予測できても予測のための処理時間がかかると高速化にはならない。当然、予測アルゴリズムは高速性を要求される。

(5)モデルの階層化

視点の位置と物体の距離、視線からの偏角と階層モデルの関係をどのように設定すれば高精細を保ちつつ、高速表示が可能になるかを把握しその効果を確認する。

' 90.5

' 91.5

' 92.5

(1)像変化遅れのタスクへの影響の定量的把握

(2)頭部、視点の移動特性の把握

(3)予測表示効果の確認

(4)移動予測アルゴリズムの研究

(5)モデルの階層化

Fig. 12 研究計画

6. 当面の研究内容

6.1 表示遅れによる観察者への影響

運動視差表示における像変化の遅れ時間と観察者のタスクへの影響を調べる。実験環境としては、仮想空間操作プロトタイプシステムを用いる。(Fig. 1 参照) 観察者が仮想空間内で行うタスクは、仮想空間内に表示した物体を、観察者の手の動きに連動した仮想空間内のカーソルでポインティングするものとする。極力、高速表示させた場合から、意図的に遅れを発生させて表示した場合の、各ポインティング開始から終了までの時間(以下、ポインティング時間)を計測し、表示遅れ時間との相関を調べる。

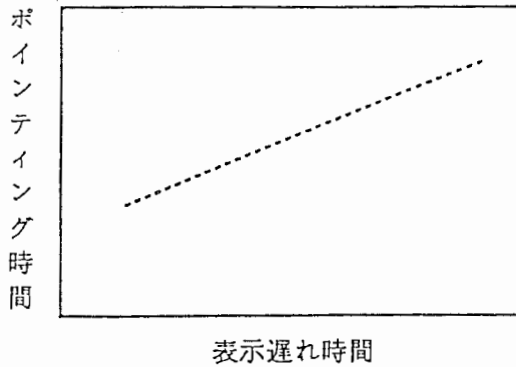


Fig. 13 像変化遅れと
ポインティング時間

表示遅れ時間を横軸に、ポインティング時間を縦軸に取ると、Fig. 13 の様なデータが得られると予想される。この結果より、運動視差における表示遅れの許容時間を求め、高速表示のためにどれぐらい先の時間を予測すべきか検討する。

6.2 表示モデルと運動視差の表示遅れの知覚特性の把握

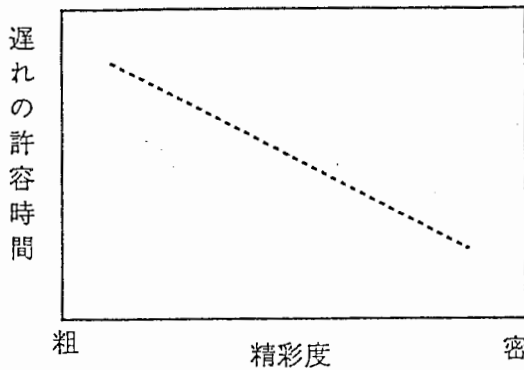


Fig. 14 精細度と表示遅れの
許容時間の関係

運動視における表示遅れは、観察者自身の移動速度とそれに対応する表示対象の変化速度のずれが大きくなると知覚されると考えられる。表示対象の変化速度は網膜上で映る単位時間当りの空間的変位で観察者に知覚される。この空間的変位は表示モデルの形状により視点の移動速度が同じでも変わる。表示モデルの形状の複雑さ、精細度をパラメータとして、運動視の表示遅れの許容時間との関係を調べる。その結果としてFig. 14が予想される。

7. あとがき

本報告では、仮想空間操作における高速画像生成表示法について検討した。今後、頭部、視点の移動を予測した高速画像生成表示法に焦点を当て、その有効性を確認する基礎実験を行って行く。

参考文献

- [1] 伴野、小林、山下：“臨場感通信のためのヒューマンインタフェースへのアプローチ” TV全大ヒューマンインタフェース 24-2 (1989. 5. 15)
- [2] 伴野、竹村、石橋、岸野：“視線追跡型高速画像生成表示法の提案” TV全大 pp. 91-92 (1990)
- [3] 星野、比留間、山田、福田：“運動視差利得を変化させたときの視覚効果” 信学論 (D-II) vol. j73-D-II No. 2 pp. 224-231 (1990. 2)
- [4] 石井郁夫：“視点移動追従型立体表示装置” 3D映像 vol. 4 No. 2 pp. 54-62 (1990. 4)
- [5] 石井、五十嵐、大和、牧野：“視点移動に追従するステレオ像表示の一方法” 信学論 D-II vol. j72-D-II No. 9 pp. 1348-1355 (1989. 9)

- [6] 佐藤、平田、河原：“3次元形状モデリングのための仮想作業空間” 3D映像 vol.4 No.2 pp.27-35 (1990.4)
- [7] 伊藤紀夫：“IRISグラフィックワークステーション” bit別冊 pp.65-76 (1987.7)
- [8] 山下他：“コンピュータグラフィックスシステム LINKS-1の現状” 情処学会グラフィックスとCAD研究会 No.10-3 (1983.7)
- [9] 河合他：“画像生成用マルチコンピュータシステムとプロセッサについて” 情処学会グラフィックスとCAD研究会 No.19-4 (1985.10)
- [10] 日高、平井他：“マルチコンピュータ画像生成システムMC-1” 情処学会計算機アーキテクチャ研究会 No.58-5 (1985.6)
- [11] 吉田、成瀬他：“グラフィックス計算機SIGHTの基本構成” 情処学会計算機アーキテクチャ研究会 No.85-53 (1985.12)
- [12] 秋本、間瀬：“画素選択型光線追跡法” 信学論 vol.j69-D No.12 1986
- [13] A.Glassner：“Space Subdivision for FAST RAY Tracing” IEEE Computer Graphics and Applications vol.4 No.10 pp.15-22 1984
- [14] 村上、広田、石井：“部分更新レイトレーシング” 情処論 vol.30 No.6 pp.689-697 1989
- [15] 赤松、酒向：“コンピュータグラフィックスのための高速直接補間法” 信学論 D vol.j70-D No.6 pp.1224-1234 1987.6