

適応的テクスチャマッピングを用いた Time Critical Rendering の実現

丸山 知子 藤代 一成†

お茶の水女子大学大学院 理学研究科 情報科学専攻

†お茶の水女子大学 理学部 情報科学科

〒112 東京都文京区大塚 2-1-1

{maruyama, fuji}@is.ocha.ac.jp

没入的なバーチャルリアリティ (VR) 環境を創成するための重要な考え方として、TCR (Time Critical Rendering) が最近注目されはじめている。ユーザの仮想空間への没入感を高めるには、効率を犠牲にしたフォトリアリティの追求よりも、むしろユーザの視点や注視点等の変化にシステムが迅速に応答できる範囲にレンダリングのクオリティを制限することの方を重視するべきであるという考え方がTCRである。

本論文では、画像をベースとした簡易 VR システムにおいてフォトリアリティを得る上で不可欠なテクスチャマッピングを用いて、このTCRの概念を実現する。インタリアシミュレーションの行動モデルにもとづき、ユーザがより正確にインタリア空間を評価できるようにテクスチャの画質を適応的に制御する方略を提案し、いくつかの実験を通じてその効果を実証する。

Adaptive Texture Mapping : An Image-Based Approach to Time Critical Rendering

Tomoko Maruyama and Issei Fujishiro

Department of Information Sciences, Ochanomizu University

2-1-1 Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112, Japan

Time Critical Rendering (TCR) has recently attracted much attention as an important framework for creating immersive virtual environments. TCR trades time-indulgent pursuit of high quality rendering for allowing direct control over the timing of rendering according to variable frame rates required for participants' interactions, so that more responsive interactivity can be maintained to keep him/her immersed in a virtual environment.

This paper attempts to realize the concept of TCR using texture mapping, which plays an indispensable role in producing photorealistic scenes in image-based VR systems. An adaptive strategy for controlling the level-of-detail of textures is developed based on a simple model of participants' behavior in interior evaluation. The feasibility of the adaptive strategy is proved with some experiments on a pilot VR interior simulator, where participants are allowed to evaluate interior spaces more accurately.

1 はじめに

快適なインテリア空間の設計は、旧来の形状設計を越えた「質感設計」[2]における重要な課題の一つである。設計された空間を事前に効果的に評価する上で、CGを用いたシミュレーションは現在、不可欠な方法論となっており、既に同目的の商用システムも積極的に開発されてきている(例えば、国内では[4])。さらに、ユーザがより正確な評価を行えるようにするには、没入的な仮想インテリア空間が提供できる仮想現実感(VR)技術の利用が有望視され、いくつか試験的なシステムも登場し始めている[9]。

空間における快適さを評価するためには、スケール感覚やオブジェクトの色などを見る心理学的な基準と、人体寸法や動作空間を考慮する人間工学的な基準の、二つの評価軸があることが知られている[1]。人間は、両者を巧みに組み合わせることによって、設計された空間の良否を総合的に判断できるのであるが、VR技術を用いてこのような判断が可能な仮想環境を提供しようとする際には、以下のようなトレードオフを解消しなければならない。例えば、住空間の壁や色などが長時間いても疲れにくい、落ちつけるかといったような心理学的空間評価を行わせるためには、フォトリアリスティックレンダリングを重視する必要がある。ユーザは移動を控えるので、段階的な画質の改善を行うことさえ可能である。一方、空間の使い易さといった人間工学的基準に基づいた評価を行わせるには、例えば住空間に配置されている器具の位置関係を、ユーザに効率的に空間を動き回らせることで評価させなければならない。この場合には、むしろ画面の更新をスムーズに行って、ユーザのウォークスルーの要求に追随していけるような適度な画質の高速レンダリングを目指す必要がある。もし、与えられた計算資源の能力の限界を考慮せずに、この両者の評価基準を同時に満足させようとするれば、高画質の画像の更新によって対話操作に遅れが生じ、かえってユーザが疑似的空間にいたことを気づかせ、それまで得られていた没入感を喪失してしまうことになる[7]。一度没入感を失わせてしまうと、その後の正確な空間評価は期待できない。

そこで、この没入感を維持する上で重要となる考え方として、本論文では、TCR(Time Critical Rendering)[10]に注目する。TCRとは、実際に人間の目に見えている画質よりも、むしろ視点や注視点の変化にどれだけシステムが連動できるかという能力の方が没入感の創成・維持にとって重要であり、一定の計算能力しかもたない計算機に、ユーザの不規

則な動きを追随させるためには、画質の潔い劣化(graceful degradation)もやむを得ないとする考え方である。

最近になって、パーソナルコンピューティングにおけるVR技術の発展が目覚ましい。それを支えているのは、テクスチャマッピングを利用した画像指向のレンダリングによる手軽なフォトリアリティの実現方式である[5, 8]。テクスチャ自身も比較的大きな記憶域を必要とするが、空間およびその中のオブジェクトをすべてポリゴンで表現し、3次元レンダリングを施して、フォトリアリティを実現する方式と比較すれば、時空間の両面に渡って効率的であると考えることができる。

そこで本論文は、上記のTCRの概念をこの画像指向VRにもちこみ、ユーザの視点や注視点の変化にあわせてテクスチャの画質を適応的に制御する方式を実現する。より具体的には、ユーザの心理学的および人間工学的なインテリア評価のモデルにもとづき、オブジェクト-視点間の距離、視点の移動速度、注視点の移動速度、シーンの明るさの4つのパラメータ値にあわせて、より正確な空間評価が可能な没入感が得られるようにテクスチャピラミッドのレベル選択を行なう方略を提案する。さらに、提案するTCR方式を組み込んだインテリアシミュレーションシステムをDOS/Vで動作する簡易VR構築ツールキットVRT[†]を用いて開発し、数種の実験により提案する適応的テクスチャマッピングの効果を実証する。

次節以降、本論文は以下のように構成されている。まず次節で、インテリア評価のためのユーザ行動モデルを与えた後、それに基づくTCRの基本方針を策定する。続く第3節でテクスチャピラミッドの構造を示し、そのレベル選択を行なう方略を制御パラメータごとに設計する。第4節では、実験システムの概略を紹介し、そこに搭載されたTCR機能を実験により評価する。最後に第5節で本論文をまとめ、今後の研究課題にふれる。

2 インテリアシミュレーションにおけるTCR

本節では、インテリア空間の視覚的評価基準に基づくTCRの一般的規則を導出する。

[†] VRT(Virtual Reality Toolkit)はSuperscape社の商標である。

2.1 ユーザ行動モデル

インテリア空間の視覚的な評価行動をモデル化する上で特に重要なのは、ユーザの視点の動きと注視点の存在の有無である。視点 (viewpoint) は、仮想空間におけるユーザの「位置」である。ユーザが静止していれば視点も静止しているが、ユーザが姿勢を変えれば、それに伴って視点も移動する。一方、注視点 (gaze point) は注視している「対象」である。ユーザが単位時間内に各所に視線を動かせば、注視点は定まらない。しかしユーザが単位時間内に視線の先を固定していれば、そこに注視している対象は必ず存在しているはずであり、ユーザはそれを意識している状態にあるといえる。簡単のために、ここでは視線方向の注視の深さ (焦点) を無視することにすれば、注視点の存在の有無は、注視点の動きによって捉えることができる。そこで、視点と注視点の動きの状態の組合せから、合計で4つの基本状態が考えられる。ここではそれぞれの状態を、状態(0)～(3)と表記する(図1)。

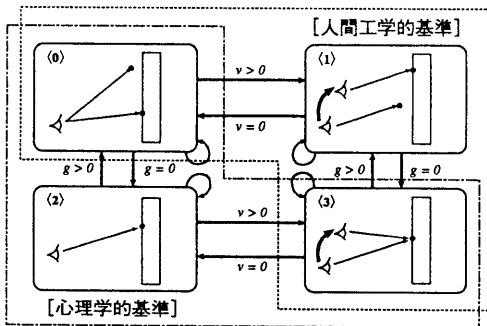


図1: 住空間の視覚的評価のための状態遷移モデル

- 状態(0): 【視点】静止, 【注視点】移動
- 状態(1): 【視点】移動, 【注視点】移動
- 状態(2): 【視点】静止, 【注視点】静止
- 状態(3): 【視点】移動, 【注視点】静止

前節の冒頭で、インテリア空間評価には、心理学的 / 人間工学的な2種類の基準が存在すると述べた。心理学的に空間を評価する場合、一般にユーザは視点の移動を控えるため、主として視点が静止している状態(0),(2)にあると考えられる。ここでは、注視点の移動に伴う部分的な画質変更の必要性はあるものの(状態(0)), 固定された視線がシーンの更新の確率を低減するために、より詳細なインテリアの観察を行なう上で、高レベルのフォトリアリスティックレンダリングが重要視される。一方、人間工学的に空

間を評価する場合、ユーザは通常空間内を移動することから、主として状態(1),(3)にあると考えられる。それに伴う視線の変更はシーンの更新を頻繁に生じさせるので、それをスムーズに実行してユーザのウォークスルーに追従できるように、適度な画質のレンダリングを行なう必要がある。ここで、図1では、2種類の評価基準のどちらにも属する状態があることに注意されたい。例えば状態(3)は、注視点が一定であるという意味では、心理学的な評価をしているとも考えられるし、室内を動いているという観点からは人間工学的な評価をしているとも捉えることが可能である。

両者の評価基準を同時に満足させた上でユーザにインテリア空間を効果的に評価させるには、上記の4つの状態に応じた画質の適応的制御が必要になる。その一般原理は、視点の移動時には、静止時よりも全体的に画質を落とし描画速度を維持する一方、注視点が存在している場合には、その該当箇所の近傍だけは画質を落とさないことである。

2.2 適応的画質制御の基本方針

この適応的画質制御を実現するための観測パラメータとして、視点の速度 v 、注視点の速度 g の2つが不可欠であることは言うまでもない。それに加えて、オブジェクト-視点間の距離 d も重要である。なぜならば、距離が大きくなればなるほど、オブジェクトは実際の大きさよりも小さく見えるので、射影されたオブジェクトの解像度は落としても構わないと考えられるからである。さらに、シーンの明るさ l が小さいほど、人間の目の解像度も落ちるため、同様にシーンの画質は落とせると考えられる。

以上4つのパラメータを適応的な画質制御に利用すると仮定したときに、図1に示したインテリア評価のユーザ行動モデルの各状態ごとに、どのパラメータをどのような優先順位で考慮するべきかを図2に示す。

状態(0)では、視点は静止しており、また注視点は変化していることから強調する対象もないため、固定されたシーン全体を、 d, l だけに依存して高画質にレンダリングすることができる。

状態(2)でも視点は静止しているが、固定された注視点周りをより詳細にレンダリングする必要がある。すなわち、ここでは d, g, l に依存した画質制御を行なう。

状態(1)では、視点が移動するため、シーン全体の画質を落とす必要がある。注視している対象は特に

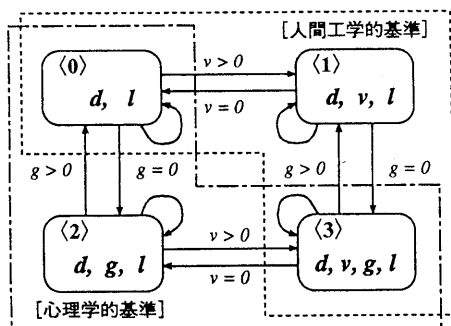


図 2: 画質制御の基本方針

ないので、 d, v, l に依存して画質は制御されるべきである。

状態 (3) では、移動する視点に合わせてシーン全体の画質を落とす一方、固定された注視点周りだけは画質を維持する工夫を行なうべきである。したがって、 d, v, g, l に依存した画質にする。

これらの状態間は、 v, g の値を観測することによって遷移しあうことができる。

3 適応的テクスチャマッピング

本節では、画像ベースの VR において TCR を実現するためのテクスチャデータ構造 [6] としてピラミッド構造を導入し、続いて各制御パラメータごとに具体的な画質制御の方略を示す。

3.1 テクスチャピラミッド構造

テクスチャピラミッド構造とは、図 3 に示すように、与えられた $2^n \times 2^n$ の原テクスチャ画像に対して、解像度の異なる $2^0 \times 2^0 \sim 2^n \times 2^n$ の $n+1$ 枚のテクスチャ画像を生成したものである。すなわち、0 次画像 $I_0 (2^n \times 2^n)$ から出発して、解像度が縦横とも $\frac{1}{2}$ になるように順次 4 つの近傍ピクセルを平均化することで、解像度の小さい高次のテクスチャ画像系列 $I_1, I_2, \dots, I_n (1 \times 1)$ を得ることができる。簡単な計算により、 $n+1$ 枚の画像を保持するのに必要な記憶容量は、0 次画像のその 4/3 倍に過ぎないことに注目されたい。この程度の空間計算量の増加と引替に得られる適応的テクスチャマッピングによる時間計算量の軽減は十分に意義あるものである。

本論文では、カラーのテクスチャ画像を扱うため、ピラミッド生成時に r, g, b の各成分毎に計算を行う必

要がある。一般に、パレットによる色指定が行なわれている場合、平均化操作によって生じる新色をすべて、エンタリ数に制限のあるパレットに追加することはできない。そこで、ここでは得られた色とパレットにある全ての色データとの RGB 空間における距離を計算し、その最小値をもつパレットエンタリを近似色として採用することにした。詳細は、文献 [3] を参照されたい。

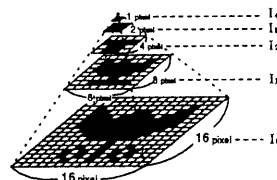


図 3: ピラミッド画像の例 ($n=4$)

3.2 テクスチャ画像の次数選択の方略

3.2.1 オブジェクト-視点間の距離

まず、オブジェクトごとに視点からの距離に応じて、テクスチャの解像度を適応的に変化させることを考える。図 4 は、視点とオブジェクトの位置関係を平面的に図示したものである。ここで、 f は視点からスクリーンまでの固定された距離 (視距離) である。ユーザが視点 V_p から距離 $d+f$ だけ離れたところにある幅 X のオブジェクトを見たとき、それがスクリーン上に幅 u で投影されるならば、容易に次のような関係式が導かれる:

$$u = \frac{f}{d+f} X \quad (1)$$

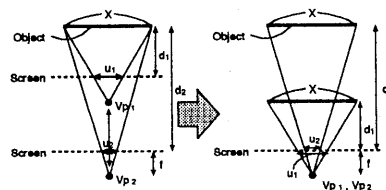


図 4: 視点からの距離とスクリーン上の投影との関係

ここでオブジェクトにマッピングされたテクスチャの解像度が、視点からの距離に反比例して低くなっ

でスクリーン上に投影されると仮定する。もし、テキスト I_0 がオブジェクトにマッピングされ、距離が $d+f$ のときに、スクリーン上のテキストが I_j で与えられるとする。それぞれのテキストの解像度を式 (1) に代入して、次式を得る:

$$2^{n-j} = \frac{f}{d+f} 2^n \quad (2)$$

式 (2) を j について解けば:

$$j = \lfloor \log_2 \left(\frac{d+f}{f} \right) \rfloor \quad (f > 0). \quad (3)$$

式 (3) を用いることによって、オブジェクト-視点間の距離が与えられたとき、実際に描画する際にマッピングすべきテキスト画像の次数を決定することができる。図 5 における階段関数 F_0 は、基準となるテキスト I_0 の解像度を $2^9 \times 2^9$ としたときの、距離とテキスト画像の解像度との関係を与えている。

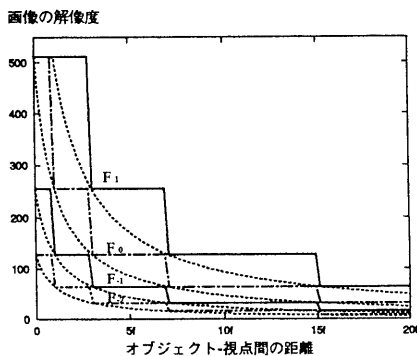


図 5: オブジェクト-視点間の距離と解像度の関係

3.2.2 視点の速度

視点の移動によってシーンが変化するとき、人間の目の解像度は静止しているオブジェクトを観測するときに比べて低下すると考えられる。したがって、描画速度を維持するためにテキスト画像の解像度を低下させても、ユーザはその変化に気づきにくいはずである。本来は、速度に応じて解像度を低下させる割合も変化させるべきであるが、ここでは図 2 に示した状態遷移に合致させるために、視点の速度 v が 0 かどうかだけに依存してテキストの解像度を変化させることにした。すなわち、視点が進んでいるときだけテキスト画像の次数を一つ増やす、換言すれば解像度を一段階上げることにする。例えば、図 5 における関数 F_0 は、関数 F_{-1} へ遷移する。

3.2.3 注視点の速度

ユーザが注視するオブジェクトの近傍は、相対的にテキストの解像度を上げる必要がある。そこで、視点の場合と同様に、注視点の速度 g が 0 のとき、すなわち一点をある時間凝視しているときはテキストの次数を一つ減らす、換言すれば解像度を一段階上げることにする。例えば、図 5 における関数 F_0 は、関数 F_1 へ遷移する。

3.2.4 シーンの明るさ

本来は、視覚生理学等で実験的に得られている知見を参照すべきであるが、ここでは簡単のために、他の条件が固定されている場合に、人間の目の解像度はシーンの明るさに比例すると仮定した。そこで、基準の明るさが半分になるとテキストの次数を一つ増やせばよい。これは、図 5 における関数 F_0 が添字が減る方向へ遷移することを意味している。

4 実験および評価

本節では、前節で示した適応的テキストマッピングの TCR 方略としての効果を、具体例を用いたインタシミュレーションの実験により検証する。実験システムは、パーソナルコンピュータ GATEWAY 2000 社の P-120 (CPU: Pentium (120Hz), メモリ: 32M バイト) 上に、VRT を用いて構築した。なお、対話デバイスは標準マウスと 6 自由度の 3D マウスである。

4.1 基本実験

前節で示した 4 つの制御パラメータごとに効果を評価する。

4.1.1 距離に関する画質制御

まず視距離 f に等しい一辺の長さをもつ立方体を一つだけ置いた簡易な仮想空間を設定する。ある位置に視点を固定し、立方体の位置を視線方向に往復させて、距離に応じた描画速度 (1 秒あたりのフレーム数、連続する 50 フレームの所要時間から計算) を測定する。平均的な描画速度を求めるために、距離に応じて立方体の各面には予めピラミッド構造に変換しておいた異なるテキスト画像 (解像度はすべて 512×512) を前節の方略に従ってマッピングしながら、自立的に回転させる。図 6 に、実験の様子を示す。オブジェクト-視点間の距離と描画速度が、それぞれ画面の右下、左下に表示されている。この実験

は、見方を変えれば、図2のユーザの行動モデルにおける、明るさを一定にした状態(0)に関する実験であるということが出来る。

距離 d に対する TCR を考慮した場合 (*on*) と、考慮しない場合 (*off*) について比較する。一定間隔の距離ごとに、描画速度を 20 回サンプリングした結果を図7に示す。TCR が *on* の状態の方の描画速度が、*off* の状態のそれよりおよそ 1frame/sec 改善されているのがわかる。距離が大きくなるほど、オブジェクトが小さく見えるため、スクリーン上の描画領域は減少し、描画速度が向上する。実際のシーンは、スクリーン全体が絶えず複数のオブジェクトの投影面で覆われるので、描画速度の幅はここまで顕著に現われない。

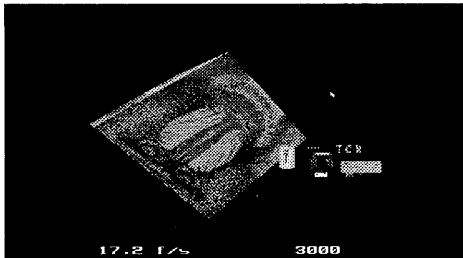


図 6: 距離に関する実験の様子

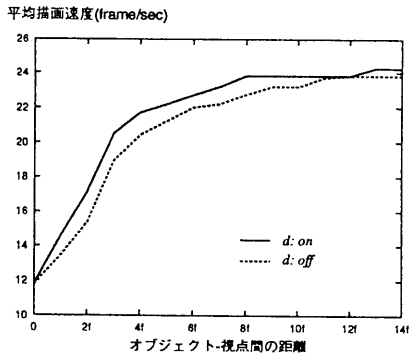


図 7: 距離に関する実験結果

4.1.2 視点移動に伴う画質制御

前項の実験と同様に、仮想空間内にテクスチャマッピングを施した立方体を置く。この実験では、立方体そのものは固定し、ある一定の距離を保ちなが

ら視点を立方体の周りに回転させ、視点の移動に伴う描画速度の測定を行う(図8)。これは、シーンの明るさを一定にした状態(1)の実験に相当する。

実験結果を図9に示す。ここから、速度 v に関する TCR の考慮を追加すると、シーンの構成に用いられるテクスチャ画像の次数が一律に一段階大きくなるので、さらに描画速度がおおよそ平均 1frame/sec 上昇することがわかる。

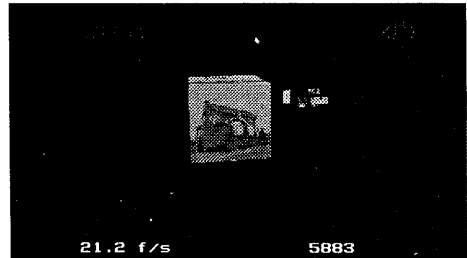


図 8: 視点移動に関する実験の様子

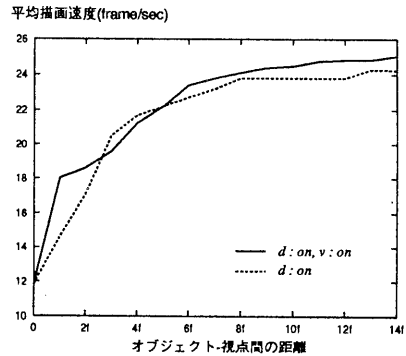


図 9: 視点移動に関する実験結果

4.1.3 注視点に関する画質制御

注視点は本来アイトラッキング等から自動計測されるべきであるが、ここでは簡単のため、注視点が存在していることを標準マウスボタンを押すというイベントによってシステムに伝えることにする。

前述の2つの実験環境を用いて、注視点に関する実験を行う。まず、オブジェクト-視点間の距離の実験環境において、立方体を注視し続けるという状態を設定する。これは、明るさを一定にした状態(2)の実験と見なせる。視点と注視点を結ぶ視線が交差

するオブジェクトにマッピングされるテクスチャ画像の次数を一段階落とす操作は、距離に依らず、かなりの負担になっていることがわかる(図10)。

また、視点の移動に関する実験環境においては、絶えず移動し続ける立方体に合わせて注視点を移動させる。これは、シーンの明るさを一定にした状態(3)に対応する実験である。この結果、視点変更と注視点移動の両方にシステムを応答させることは、描画速度をかなり不安定にすることがわかった(図11)。

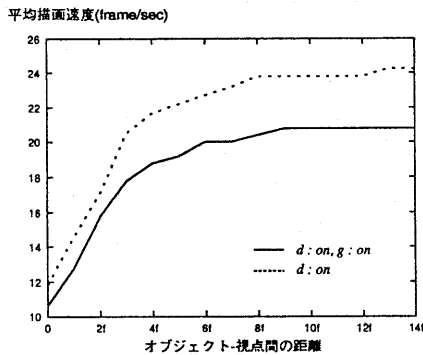


図 10: 視点静止時の注視点に関する実験結果

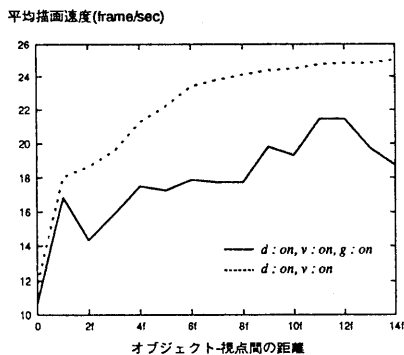


図 11: 視点移動時の注視点に関する実験結果

4.1.4 シーンの明るさに関する画質制御

VRTでは、パレットを書き換えるだけで、シーンの構成に用いられるピクセルの明るさを変更することができるので、むしろ二次記憶へのアクセスを必要とするテクスチャ画像の次数の変更は、描画時間を遅くする(0.1~0.2frame/sec)。ただし、前述の視点移動に関する実験結果からも推測できるように、一度暗いシーン向けに次数を低くしたテクスチャは、視点の移動時には、描画速度を向上させる効果を与えることがわかった。詳細は文献[3]を参照されたい。

4.2 総合実験

ここでは、インテリアシミュレーションにおいて各制御パラメータを関与させた総合的なTCRの実験の概要を述べる。

開発したシステムには2種類の操作モードが存在する。評価モードでは、仮想空間の壁にTCRコントロールパネルが現われ、制御パラメータごとの方略のon, offがセットできる一方、行動モデルの状態遷移や描画速度が画面下段の評価バーにレポートされる。コントロールパネルからは、心理学的評価フェーズと人間工学評価フェーズのそれぞれに対応してシステムが推奨する制御パラメータの標準設定値(on, off)を選択することもできる。心理学的評価フェーズは、d, g, lがonとし、左(ピンク)のボタンを押すことにより設定できる。また、人間工学的評価フェーズは、d, v, lがonで、右(ブルー)のボタンを押すことにより設定できる。それぞれのフェーズに合わせて、評価モードバーにおけるフェーズの欄には、“psychology”, “ergonomics”と表示される(図12)。一方、通常モードは、上述のような評価用2次元インターフェイスを一切もたないモードである。ユーザには仮想空間のシーンだけが提示され、没入感を高めることができるモードである。

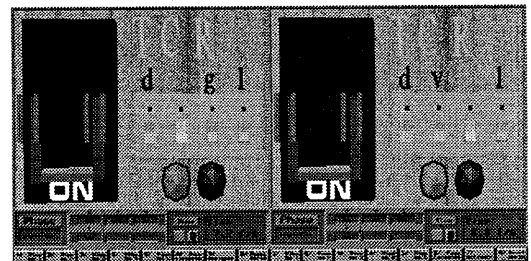


図 12: 評価モードにおけるTCRインターフェイス
左: 心理学的フェーズ, 右: 人間工学的フェーズ

実験に用いられる仮想空間として、簡易なショールームを設定する。壁の絵画には、すべて512×512の解像度のテクスチャを使用している。また、床、壁用のテクスチャは512×512、天井用は64×64の解像度であり、反復的にマッピングを行っている。さらに、空間内には、ピアノ、椅子、スイッチ、ブラインド等のオブジェクトが存在している(図13)。

図13(a)では、ユーザが右脇に背もたれの一部が見えるソファに座って部屋の雰囲気落ち着けるかどうかを、部屋中を眺め回すことによって確認している。システムは、視点と注視点の速度をチェックするこ

とによって、現在、状態が(0)であることを認識しており、次数が相対的に低い高画質のレンダリングを許している。これは心理学的評価フェーズに相当する。

一方、図13(b)は、ユーザが壁のディテールを具に確認しようとして、ソファから立ち上がり、ピアノの存在を気にしながらゆっくりと壁の方に向かっていくところである。評価バーの提示内容からシステムは状態が(1)に遷移していることを認識していることがわかる。こちらは人間工学的評価フェーズに相当する。視野で拡大したピアノのポリゴン数が多いことが、描画速度を遅くする原因となるはずだが、前節で提案したTCR方略により、次数の高い低解像度のテクスチャマッピングが用いられ、むしろ平均描画速度は12%向上していることに注意されたい。画質の低下は、ユーザからは無視できる範囲に留まっており、快適なウォークスルーが、ユーザのショールームへの没入感を維持させることに成功している。当日の発表では、図13の2枚のスナップショットを含むアニメーションを上映し、TCR offのケースとの比較から、適応的テクスチャマッピングの効果をより詳細に議論する予定である。

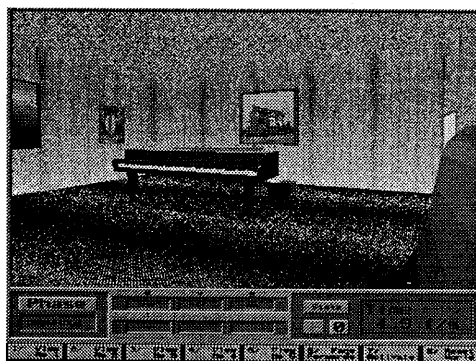
5 まとめと今後の課題

画像指向のTCRアプローチとして、適応的テクスチャマッピングの方略を、インテリア空間の視覚的評価のためのユーザ行動モデルに基づいて開発し、試験的なシステムを用いた実験によりその効果を実証した。ユーザの行動モデルをベースとしてTCRを実現したことは、本研究を他の関連研究から差別化する上で重要なポイントであり、他のVR応用においても適用可能な方法論であると考えられる。

今後の課題としては、アイトラッキングの機能をもったビデオ指向のAugmented Realityへの本手法の拡張と、3次元オブジェクトの階層的形状モデルとの共用によるTCR方式への一般化があげられる。

参考文献

- [1] 北浦かほる, 他: インテリアデザイン教科書, 彰国社, 1993
- [2] 藤代一成(編著): CAD/CAM, 丸善, 1990
- [3] 丸山知子: Time Critical Rendering: 没入的VRシステム構築の方法論, お茶の水女子大学大学院理学研究科修士論文, 1996
- [4] MASTER-R CARRY-R USER'S GUIDE Ver.1.0, 日製産業株式会社, 1994



(a) 心理学的評価モード(状態(0))



(b) 人間工学的評価モード(状態(1))

図13: 総合的TCR実験の様子

- [5] S. E. Chen: "QuickTime VR — an image-based approach to virtual environment navigation," *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series*, pp. 29–38, 1995.
- [6] P. Heckbert: "Survey of texture mapping," *IEEE Computer Graphics & Applications*, Vol. 6, No. 11, pp. 56–67, 1986.
- [7] R. S. Kalawsky: *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*, Addison-Wesley, 1993.
- [8] L. McMillan and G. Bishop: "Plenoptic Modeling: an image-based rendering system," *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series*, pp. 39–46, 1995.
- [9] B. J. Novitski: "QuickTime VR opens doors for architects," *Computer Graphics World*, Vol. 18, No. 11, pp. 50–57, 1995.
- [10] A. van Dam: "VR as a forcing function: software implications of a new paradigm," In *Proc. IEEE 1993 Symposium on Research Frontiers in Virtual Reality*, pp. 5–8, 1993.