

擬似広視野化による高臨場感 VR コンテンツの生成

本多 健二 橋本 直己 佐藤 誠

東京工業大学 精密工学研究所 〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259

E-mail: {khonda, naoki}@hi.pi.titech.ac.jp, msato@pi.titech.ac.jp

あらまし 近年、高品質な映像表現を伴ったインタラクティブなコンテンツが多く分野において利用されている。このようなコンテンツの臨場感をさらに高める方法の一つとして、映像を広視野に提示する方法が考えられている。しかし既存の映像コンテンツの視野角は、家庭用視聴環境を想定した視野角となっているため、広視野環境で利用するためには映像の視野角が不十分であるといった問題がある。そこで本論文では、時系列映像から周辺映像を実時間で抽出する広視野映像生成手法を提案する。具体的には、実時間性を維持し、周辺映像の再構成における歪み低減するため、シーンの奥行きを近似した奥行きモデルを導入する。そして、提案手法を用いて生成した映像を没入型ディスプレイで表示し、周辺映像の特性と実時間性の確認を行った。さらに提案手法による高臨場感化に対する影響について、被験者による評価を行う。

キーワード 広視野化, 没入型ディスプレイ, 臨場感, エンターテインメント, 評価

Generation of High Presence VR Contents with Pseudo Expansion of Field-of-View

Kenji HONDA Naoki HASHIMOTO and Makoto SATO

Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology

4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama, 226-8503 Japan

E-mail: {khonda, naoki}@hi.pi.titech.ac.jp, msato@pi.titech.ac.jp

Abstract Recently, interactive contents with high quality images are widely used in various areas. One of the ways that makes these contents more realistic is displaying them as covering viewer's field of view. However, the view-angle of the existent contents are not enough for covering the large display surfaces because they are based on household TV monitors whose target view-angle is about 30 degrees. In order to achieve realistic feeling of being in that content, we have to enlarge the view-angle of these images in real-time. So, in this research, we propose a technique that reconstructs wide view-angle images by extracting peripheral images from time-series image frames in real-time. A simple 3-D model approximating target scenes contributes to, achieving real-time processing and reduction of uncomfortable feeling with distortion of the reconstructed peripheral images. We apply this method to an actual game content, and consider the quality of image and its processing time. By using that implementation, we perform objective and subjective evaluations, and confirm the effectiveness for enhancing the fun of the content itself.

Keyword wide view-angle images, immersive projection display, high presence, entertainment, evaluation

1. はじめに

近年、高品質な映像表現を伴ったインタラクティブなコンテンツが多く分野において利用されている。Virtual Reality(VR)もその一つであり、仮想都市の中をウォークスルーする映像は実際の街並みと見間違ふほどの高い現実感を備えている。また、身近な家庭用ゲームにおいても、実在しないはずの仮想世界があたかも実在するかのよう高い映像品質で表現されている。

このようなコンテンツの臨場感をさらに高める方法の一つとして、映像を広視野に提示する方法が考えられている。近年の大型テレビの普及は、高精細な映像

を大画面で提示することで提示されたコンテンツの臨場感が高まり、実際にその場にいるような感覚を得られることが大きな要因となっている。さらに、VRの分野において体験者の視野を覆い尽くす Immersive Projection Technology(IPT)や、次世代テレビとして開発されている視野角 100 度を実現するスーパーハイビジョンなど、映像を広視野に提示するための装置に関する研究がますます盛んに行なわれている。

しかし一方、このような広視野提示環境を活かしたコンテンツは、ショールームや大規模アミューズメント施設、または VR 等の研究用途に限られている。我々

の身近にある映像コンテンツは高品質化され、広視野環境への応用が期待されているのに対し、依然として家庭用テレビの視野角を前提としているのが現状である。近い将来においても、ハイビジョンが想定する視野角 30 度程度が基準となることが予想される。現在ではプロジェクタを用いて容易に大画面表示が可能であるが、単純に拡大された映像は解像度の不足、スケールに対する違和感、視点移動量の増加などにより、コンテンツの本来持っている楽しさを十分に伝えることはできない。そこで本論文では、一般の家庭環境において利用されている高品質な映像やインタラクティブなコンテンツを実時間処理によって広視野化する手法を提案することで、広視野環境においてその楽しさや臨場感を向上させることを目的とする。

2. 関連研究

映像の広視野化に応用可能な技術がいくつか提案されている。WireGL [1]や Chromium[2]では、映像を生成するための OpenGL 命令を横取りし、これを複数台の PC にネットワークを介して分散させることで、複数台のプロジェクタによって構成された広視野角ディスプレイ上への映像提示を可能にしている。また、自動分散ソフトウェア環境[3]では、複数台の PC 上で実行されたゲームコンテンツに対して、システム API に介入することでシステムレベルでの同期処理を行ない、各 PC 上で描画領域を変更することで、ディスプレイ全体として広視野領域を生成可能にする。しかし、これらは映像を生成しているアプリケーション本体にアクセス可能であり、そこで利用されている OpenGL やシステム API が動的リンクライブラリとして提供されているという特徴を利用したものである。このような状況は極めて特殊であり、次世代家庭用ゲーム機や DVD などの現在主流となっているコンテンツには適用することはできない。

そこで、コンテンツから出力される映像情報のみを用いて映像中の各画像フレームの位置合わせをすることで、合成された高解像度映像を生成するビデオモザイクと呼ばれる手法が研究されている。ビデオモザイクでは、映像を正確に合成するために高精度な奥行き情報が必要となるため、カメラの外部パラメータや対象の 3 次元形状を高精度に推定し、歪みのない映像を作り出す研究が数多く行なわれている[4][5]。しかし、カメラパラメータや 3 次元形状の高精度な推定には多く処理時間が必要となり、オフラインでの処理が前提となる。そのため、シーンがリアルタイムに変化するインタラクティブなコンテンツへの適用は非常に困難であるといえる。

これに対し、3 次元形状を用いずに、対象を平面、または平面に近似できるものと仮定し、平面射影変換

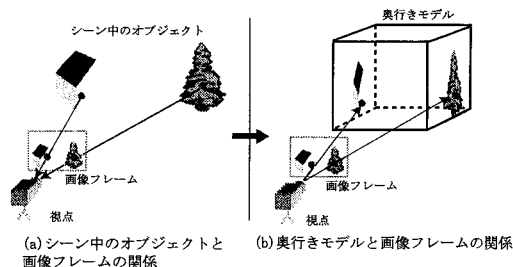


図 1 シーンと奥行きモデルの対応関係

のパラメータを推定することで画像の位置合わせを行なうビデオモザイク手法が提案されている[6]。これは、シーンの 3 次元形状を推定する処理が省略されるため実時間での広視野化を可能にしている。しかし、これらの手法の多くでは、対象を平面と仮定していることから、生成した周辺映像に大きな歪みが生じる傾向にある。3 次元空間内を自由に移動するようなコンテンツに適用した場合には、空間を平面と仮定することによる歪みが増大し、観察者の周辺視野領域におけるオプティカルフローの異常となって表面化する。これは観察者が映像から受ける違和感や酔いの要因になることも考えられる。また、平面を細分化しシーンの近似度を高めることによって歪みを低減する手法が提案されているが、多くの処理時間を必要とし実時間処理には対応できない[7]。

3. 擬似広視野化手法の提案

本論文では、中心視野では解像度に対し敏感であり、周辺視野では動きの連続性に対し敏感であるという、人間の視覚における機能差を利用し、シーンの奥行きを近似した簡易な形状の奥行きモデルを導入する。このモデルに対し、前進するカメラ映像コンテンツを利用して、過去視点での画像フレームに含まれる周辺視野情報を取り出し、現視点での画像フレームの周辺に追加していくことで擬似的な広視野映像を生成する。これにより、周辺視野領域に解像度の低下や歪みが生じるものの、体験者への違和感が少なく、臨場感向上に十分寄与することのできる周辺映像が生成できる。また、3 次元形状の詳細な推定やカメラの移動軌跡情報が不要となることから、リアルタイム処理が実現可能となる。このような方針に基づく広視野化を、本論文では擬似広視野化と呼ぶ。

3.1. 奥行きモデル

本論文では、映像中に含まれている世界の形状を、詳細かつ正確な 3 次元形状モデルではなく、主に平面や直方体を用いた簡易な形状で近似したモデルを奥行きモデルと呼ぶ。ほとんどの世界は地面と空、左右のシーンによって構成されているため、直方体での近似が可能である。図 1 に 2 つのオブジェクトの間をウオ

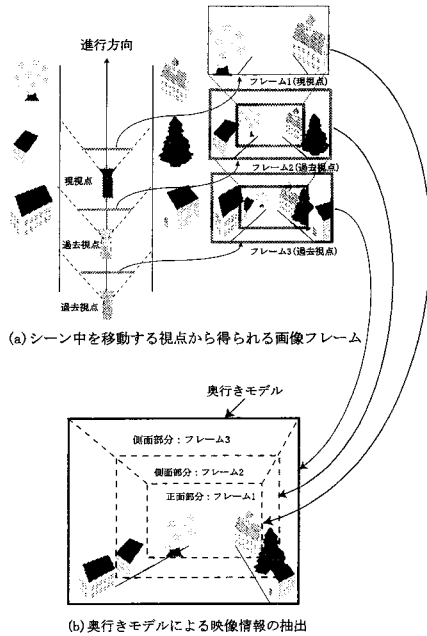


図2 奥行きモデルを用いた映像情報の抽出

ークスルーする場合、シーン中に存在するオブジェクト、奥行きモデル、視点、画像フレームの関係を示す。図1(a)は、画像フレームとシーン中のオブジェクトの対応関係を示している。図1(b)は2つのオブジェクトを壁と見立て、直方体の奥行きモデルを用いた場合を示している。図1(a)の対応関係に基づき、画像フレームから図1(b)における奥行きモデルの色情報が獲得可能となる。このモデルを観察者の視点位置から表示したい広視野ディスプレイに合わせたカメラパラメータを用いてレンダリングすることで、現視点フレームを中心として擬似的に広視野化された映像を生成することが可能となる。本論文では、奥行きモデルとしてリアルタイム処理に適した簡易な直方体形状をあらかじめ想定して用いている。また、それだけでは奥行きモデルの近似精度が不十分であると予想されるため、オプティカルフローの連続性を重視した奥行きモデルの動的な適応化を導入する。

3.2. 奥行きモデルを用いた映像情報の抽出

本手法を用いた擬似広視野化の様子を図2に示す。図2(a)は両側が建物で覆われたシーン中を、進行方向に向けて移動している様子と、その際に得られる映像フレームの関係を示している。図2(a)に示すシーンを広視野化しようとした場合、一般の映像コンテンツでは画角が小さいため、現視点画像フレーム(フレーム1)には広視野映像に必要な周辺情報は含まれていない。

しかし図2(a)中のフレーム2及びフレーム3に示すように、カメラが過去に撮影した過去視点画像フレームには現視点画像フレームに含まれていない周辺情報が含まれている。そのため、シーンの奥行き情報が得られれば、過去視点の画像フレームから周辺情報に相当する色情報が獲得可能となる。

この過去フレームにおける周辺情報を奥行きモデルにテクスチャとしてマッピングしていくことで、現視点フレームと連続した映像を生成する(図2(b))。そしてテクスチャマッピングされた奥行きモデルを観察者の視点位置からレンダリングすることで、現視点フレームを中心として擬似的に広視野化された映像が生成される。しかし、シーンと奥行きモデルの形状が一致するとは限らないため、奥行きモデルを変形させてシーンの近似度を向上させる。この処理の詳細について次項にて述べる。

3.3. 動的に変化するシーンへの奥行きモデルの対応

提案手法で用いているシーンの奥行きを近似した奥行きモデルが、実際の奥行き情報と一致しない場合、例えば、周囲を建物などの対象に囲まれたシーンから周りに対象がほとんどないシーンに変化する場合や、シーンがカーブしていくような場合等、シーンの奥行き情報が変化する場合において、図2(b)中の各フレームの部分映像において歪みが生じるが、周辺視野領域であることから観察者からほとんど違いが分からない程度の影響となる。しかし、図2(b)中の点線で示した画像フレーム間の接続部分には明確な不連続が生じ、周辺視野領域におけるオプティカルフローの変化となって観察者に大きな違和感を与える。この不連続は実際のシーンと奥行きモデルとの奥行き誤差によって生じるため、提案手法では、画像フレーム間の接合部分の奥行き変化を、映像から得られる動きベクトルを用いて推定し、奥行きモデルを変化するシーンに近づけることで不連続を低減する。ここで、接合部分で得られる全ての奥行き変化を実時間で推定することは困難なため、人間の視覚特性を考慮し、画像フレーム間の接合部分の中でも特に、体験者の注視する領域の奥行き変化を観測して不連続を改善する。モデルの変形に伴って生成される周辺映像の不連続の様子を図3に示す。

図3(a)は図2における現視点画像フレームの右端を中心と切り出したものを示している。ここでは、説明を簡略化するために、周辺映像をひとつの過去視点フレームから生成する場合を考えており、この場合画像フレーム間の接続部分は図3(a)に示す現視点フレームの周辺部分となる。提案手法では直方体モデルを用い

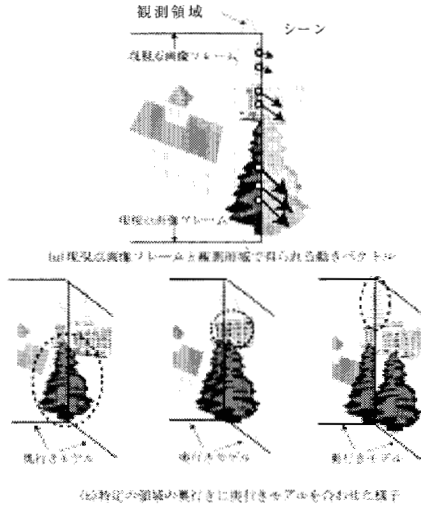


図3 モデルの変形に伴って生成される周辺映像の不連続

ているため、シーン中における特定領域の奥行きに直方体モデルの上下左右の面を合わせることで選択的にシーンに近づけることが可能となる。図3(b)は、特定の領域を、視点位置からの距離に応じて様々な位置に設定した場合、それぞれの領域に奥行きモデルを合わせた様子を示す。本研究において、広視野化の対象としてインタラクティブコンテンツを対象としている。このようなコンテンツの多くは、体験者とのインタラクションが中心視野領域において発生し、その部分を注視する傾向がある。そこで、提案手法では、体験者の注視領域近傍の奥行きに対して奥行きモデルを近づけることで、注視領域での連続性を維持する。領域毎の奥行き推定は、図3(a)に示すように、領域の近傍に着目すると同一のオブジェクト上でのフローとなるため、ほぼ均一な動きベクトルが得られると考えられる。そこで動きベクトルを安定して求めるために、この動きベクトルの平均をとり領域毎の奥行きを求める。また、注視領域は頭部や視点の追跡によって決定することが可能である。

次に、得られた動きベクトルを用いて奥行きモデルを変形する。ここで提案手法では、モデルの変形による特定領域の不連続の改善を、特定領域におけるテクスチャの連続性を維持することと等価と考え、グラフィックボードのテクスチャマッピング機能を有効利用し、変形に必要なモデルの移動量の推定処理を省略することで、処理の高速化を図る。図4に動きベクトルを用いて、奥行きモデルに色情報がテクスチャマッピングされる様子を示す。図4は、動きベクトルが得られる現視点画像フレームと過去視点画像フレームの関

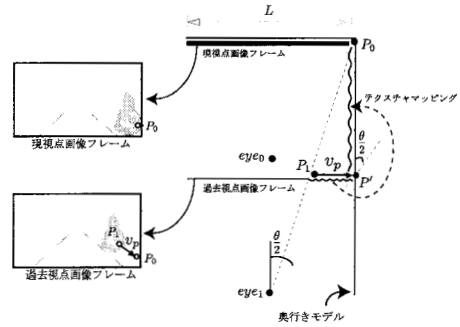


図4 奥行きモデルの変形

係を表している。そして、これらの画像フレームから得られた動きベクトルを用いて、画像フレームから色情報が得られるまでの様子を示している。まず、提案手法では、中心視野にあたる直方体モデルの正面部分には現視点画像フレーム全領域の色情報を用いる。この様子を図4の太線で示す。次に周辺視野にあたる直方体モデル側面の色情報を過去視点画像フレームから得る。現視点画像フレーム上の点 P_0 は、過去視点画像フレーム上では P_1 に観察されるため、この2フレームで得られる点 P_0 の動きベクトルは過去視点画像フレーム上で v_p として得られる。したがって、動きベクトル v_p に相当する過去視点画像フレーム上の波線部分が獲得すべき色情報となる。ここで現視点画像フレーム中の P_0 は、過去視点において P_1 と対応するため、 P_1 から P' の領域を奥行きモデルの側面へマッピングする。モデル側面でのマッピング位置 P_0P' は、図4に示すように動きベクトル v_p と、初期段階で推定した既知のカメラ内部パラメータの画角情報 θ 、フレーム幅 L を用いて $L v_p / (L - 2 v_p) \tan(\theta/2)$ と表される。これにより、中心映像に対して正しいスケールが維持された状態で周辺映像が生成される。

また、周辺情報を抽出する際にはカメラ外部パラメータを明らかにする必要がある。3次元空間内を高速に移動するようなコンテンツの場合、現視点のフレームに対して、わずか前の過去視点フレームから周辺を生成可能である。そのため、この数フレームの間にカメラ外部パラメータの変化はないと考える。また提案手法では、カメラの移動はシーンの移動と考えるためカメラ外部パラメータは常に固定して考える。そこで初期推定の値を以後そのまま用いる。仮想世界をゆっくりワークスルーするようなコンテンツにおいては、現視点と過去視点の間隔は広がる傾向にある。その結果、周辺視野映像に歪みが生じることになるが、オブティカルフローの不連続性には繋がらず、観察者に与える影響は低いものと考えられる。また、間隔が広が

りすぎる場合には、図 2 に示しているように周辺映像を複数の過去視点フレームから生成し、利用する過去フレーム毎にカメラ外部パラメータの推定処理を行うことで歪みを低減することも可能である。

以上のような仮定をおくことにより、カメラのレンズが光軸に平行な方向に連続的に運動しているという条件が満たされる必要があるが、このような条件が満たされない場合、たとえば視点が回転運動した場合は、直方体の側面をカーブの曲率に合わせて傾けるなど、モデルの変形の自由度を高めることで対応できると考えられる。

4. 提案手法の実装

本節では、3 節で提案した擬似広視野化手法を、PC クラスタによって構成される没入型ディスプレイ上において実装する。また、これを用いて生成された周辺映像における不連続部分や歪み、また処理時間についての考察を行う。

4.1. PC クラスタを用いた広視野映像提示

3 節で述べたアルゴリズムに基づき、本論文では没入型ディスプレイ D-vision[8]上において提案システムを実装する。D-vision は、正面約 120 インチ相当の平面スクリーンと、その周辺の曲面スクリーンを融合した、高さ 4m・横幅 6m の大型スクリーンによって被験者の上下視野角 180 度を覆い尽くす形状となっており、24 台の PC とプロジェクタで映像の生成と提示を行う。また解像度は約 4000×4000pixel となっている。このシステムの構成を図 5 に示す。

PC クラスタを用いたアプリケーションを構築する際には、描画命令や画像情報をネットワーク経由で送受信する方法が多く用いられているが、通信遅延が、実時間処理に致命的な影響を与える可能性が大きい。そこで本提案では、図 5 に示すように、家庭用ゲーム機から出力される映像を映像分配器によって 24 台の PC に分配し、24 台すべての PC において 3 節で述べたアルゴリズムを用いて広視野化を行う。そして、各 PC において自らが担当する領域に限定して映像生成を行い、プロジェクタを用いて映像提示を行う。各 PC 上でのプロセスは、分配器によって同一の映像を入力することで特別な同期処理を必要としない。また、PC クラスタの制御用に Ethernet を介してキー入力イベントを配信する。

入力映像としては、家庭用ゲーム機から出力されるドライビングゲームの映像(NTSC 480i)を用いた。この映像に対し、本論文では、処理速度を優先させるため、奥行きモデルとしてシーンの近似としては最も単純な、直方体奥行きモデルを用いて擬似広視野化を行なった。映像情報は、現視点フレームと 1 つの過去フレームから抽出した。

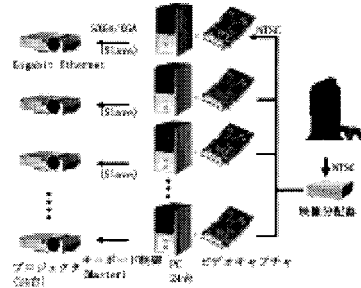


図 5 没入型ディスプレイにおける広視野映像生成

4.2. 生成映像と実時間性の評価

広視野化前の映像と提案手法により生成した擬似広視野化映像を図 6 に示す。図 6(a)は、ゲーム機からの入力映像をそのまま視野角 60 度で提示した映像を示す。また、図 6(b)は図 6(a)の映像に対し提案手法を用いて周辺映像を追加した映像を示す。図 7(a)に示すように奥行きモデルの推定処理を行わない場合、図 7(a)の点線で囲った部分のように、各フレームから抽出した映像どうしのつなぎ目に不連続が生じる。これに対して、奥行きモデルの推定処理を行うことで、図 7(b)の点線部分に示すように、体験者が高頻度で観察する道路領域と奥行き的に連続に接続された、道路脇のガードレール部において周辺映像が連続に接続されるようになる。その反面、例えば図 7(b)の実線で囲った領域では不連続が生じる結果となったが、ゲームの体験者は、白い矩形で囲った中心視野領域をディスプレイ中央から道路の先に視線を向けているため、違和感を指摘されることはなかった。画質に関しては、周辺視野は過去一枚の画像フレームから生成しているため、中心視野に対してやや解像度が低下しているが、周辺視野にあたる領域であるため、ゲームを楽しむ上での違和感にはならないことが確認できた。また、本研究において対象としているようなインタラクティブコンテンツの映像中には、図 6(a)の実線で囲った領域 a、領域 b のような、ゲームに関する情報を示すオブジェクトが存在するケースが多い。提案手法では、これらのオブジェクトは、図 6(b)の実線で囲った領域 a'、領域 b' に示すように、現視点画像フレームを配置した中心視野と過去視点画像フレームを配置した周辺視野の両方に入れ子構造として表示される。このような場合、情報オブジェクトが表示される領域を特定し、過去視点画像フレームから該当領域の映像を取得して置き換えることで、それを除去することが可能になると考えられる。

一方、処理速度に関して、実験に用いたシステムを構成する PC(CPU:PentiumD 3.2GHz, Memory 1GHz, GPU GeForce7800GTX)において、提案手法における各



図6 没入型ディスプレイで擬似広視野映像を表示した結果

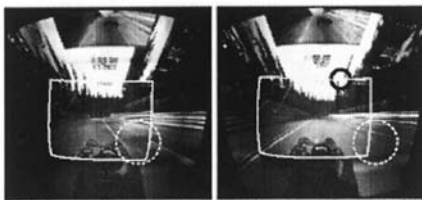


図7 奥行きモデル推定処理の効果

処理ごとに要した処理時間を計測し、その結果を表1に示す。動きベクトルはブロックマッチングを用いて求めており、そのテンプレートサイズは 8×8 pixelとしている。x及びy軸方向に、それぞれ20pixelの間隔で近傍30pixelに対して探索することで、画像フレーム間の対応点を検出している。また、処理時間の高速化のため、動きベクトルを求める範囲を、図6に示すような画像フレームの上下左右の領域とした。各領域のサイズは、実験で用いたゲームコンテンツ内での移動速度の変化幅を考慮して、必要最小限とした。

表1において、キャプチャボードからメモリへのデータ転送、及び、奥行きモデルへのテクスチャマッピングにおいては、その処理時間は無視できる程度のものであった。全処理の合計時間が31msということで、遅延はNTSCの1フレーム程度であり、更新レートも30fps程度ということでゲームを楽しむのに十分な処理速度が実現できた。

表1 提案システムの処理時間

処理内容	処理時間
データ転送	1.5ms
ブロックマッチング	1.5ms
奥行きモデルの生成	1.5ms
テクスチャマッピング	1.5ms
描画	20ms
音声処理	1.5ms
入力処理	1.5ms
合計	31ms

5. 提案手法による映像再現性の評価実験

本節では、4節で実装した擬似広視野化手法の、映像コンテンツの持つ臨場感や楽しさへの影響を評価する。従来、没入感の評価は重心動揺やアンケート調査で行われ、それにより広視野化が没入感を高めるために有効であることが示されてきた。そこで本論文においても、提案する疑似広視野化によって、従来手法による広視野化と同様の効果が得られるかどうかを評価する。提案手法は、周辺視野を擬似的に拡大するものであるため、視野内の映像のもつスピード感が直接楽しさに直結するコンテンツとしてドライビングゲームを用いた。このようなコンテンツは、提案手法で拡張する周辺視野領域が、コンテンツを構成する要素として重要になってくるものと考えられる。

5.1. 実験方法

本実験では、被験者に提示する映像として、4節にて用いたドライビングゲームの中から、周囲に建物などが奥行き差のある状態で配置されているシーンを選んで利用した。映像の提示視野角に関しては、スーパーハイビジョンの提示視野角が100度とされていることから、実験ではそれよりやや広い視野角120度の映像を提示した。

本実験では3種類の映像生成手法を用いる。まず一つ目の手法としては、ゲーム機から出力された映像をそのまま拡大し、視野角120度に相当する提示サイズを実現した。二つ目の手法としては、実時間処理を前提とすることから、シーンを平面として仮定するビデオモザイクを用いて視野角120度の映像を実現し、これを従来手法とした。そして三つ目の手法として、提案手法である擬似広視野化を用いた。この従来手法と提案手法では、ゲーム機から出力される映像のスケール比より、ゲーム機から出力される映像が視野角6度程度の領域に割り当てられ、その周辺映像を過去フレームから生成するよう調整した。

評価方法としては、映像を観察している被験者の重心動揺計測と、アンケートによる主観評価を行った。

5.2. 重心動揺計を用いた評価

映像から受ける影響を客観的に評価するために、臨

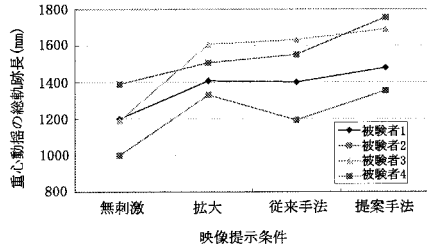


図8 重心動揺の総軌跡長

場感の評価において頻繁に用いられる、体験者の重心動揺を計測し、その総軌跡長を比較する方法[9]をもちいた。

今回は被験者の能動的な動きによる重心動揺への影響を除去するために、ゲームをプレイせず、リプレイ映像をスクリーン正面にてRomberg立位で観察することとした。提示する映像としては、5.1項で述べた3条件に加えて、映像を見せずに静止している無刺激状態での重心動揺を比較のために計測した。その際に全暗黒、閉眼、Romberg立位の状態での計測を行った。重心動揺の計測にはKistler社のForcePlateを使用し、4人の20代男性に対して行った実験の結果を図8に示す。図8より、映像コンテンツを拡大しただけの手法とシーンを平面と仮定した従来手法では明確な差は見られず、被験者によっては拡大したものを観察した際のほうがより大きな重心動揺が発生している。重心動揺に与える映像の影響を分析するために分散分析を行った。その結果、映像の効果が有意であった($F=15.823$, $pS<$.05)。Tukey bを用いた多重比較によっても有意差は確認されなかった($pS<$.05)。一方、提案手法に関しては、拡大手法および従来手法の両方に対してより大きな重心動揺が確認できていることが分かる。同検定による結果においても有意差が示されている($pS<$.05)。重心動揺が多く観測されたということは、視覚誘導自己運動(vection)等によって、被験者の身体が提示された映像に反応していたことを示している。この結果は、従来研究より臨場感と強い相関があることが示されており、すなわち提案手法によって映像の臨場感が向上したことを示していると考えられる。実験に用いた映像を観察すると、従来手法ではシーンを平面と仮定していることから、視点近くの景色のオプティカルフローが実際よりも減少し、スピード感が低下しているように感じられた。これにより、vectionの発生量も減少したことが考えられる。$$$

また、この実験では直進運動を想定した変形を行ったため、シーンがカーブする部分において不連続が生じたが、このような部分を通過する場合、体験者の注意は、中心視野に集中するため違和感の原因とならな

表2 力量感、快通感とそれに対応する形容詞対

因子	形容詞対
力量感	追力のない - 追力のある
	弱々しい - 力強い
	まとまった - 散らばった
快通感	狭まった - ひろがった
	狭い - 広い
	見づらい - 見やすい
	変れる - 変な
	違和感のある - 違和感のない
	圧迫感のある - 圧迫感のない
不伏な - 快適な	
ゆがんだ - ゆがみのない	
印象が薄い - 印象強い	

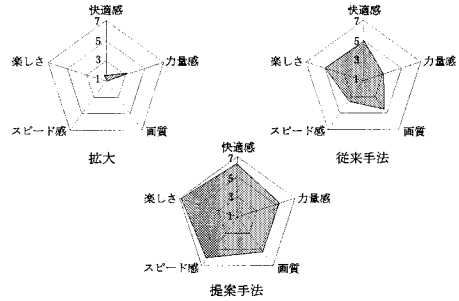


図9 主観評価による結果

かったと考えられる。被験者におけるより直接的な影響を調査するため、次項ではアンケートによる主観評価を行う。

5.3. アンケートによる主観評価

本項では、体験者が映像から受ける印象を、アンケートによる主観評価を用いて調査した。体験者は、図6に示すようなゲーム用のシートに座り、ハンドル型のコントローラを使って十分にゲームを楽しんだ後、アンケートに回答するものとした。従来のVRコンテンツは、ウォークスルーやシミュレータのようにコンテンツへの没入感や臨場感を追求したものが多く、一般家庭で利用されている映像コンテンツやゲームにおいてもその傾向に大きな変化はない。そこで本実験においても、従来研究で用いられてきた評価項目を用いた。アンケートでの質問事項は、まず、臨場感への影響に関しては、臨場感という言葉の認識に個人差があることから、映像の評価における心理因子抽出実験にて抽出された因子である力量感と快通感を用いた[10]。これに対応する形容詞対を表2に示す。実験では力量感と快通感について質問する前に、事前これらに対応する表2の形容詞対を示して、評価語のイメージを説明し、形容詞対を参考にして評価するよう指示した。また、提案手法や従来手法では、生成した映像の画質が低下する可能性があるため、その影響を調べるため画質について調査した。また、レースゲームの臨場感というものが、ゲーム中の車の速度からくるスピード感によって主に構成されていることから、スピード感についても評価項目に加えた。さらに本論文で提案する

ような試みが、映像やコンテンツの持つ楽しさを増加させることにつながるかどうかを調べるため、コンテンツ本来の楽しさへの影響を調べる項目を加えた計5項目に関して、7段階評価を行った。被験者12人に対して調査を行い、各項目の得点を平均した結果を図9に示す。

図9の結果より、単純に拡大しただけの手法に対して、従来手法、提案手法の順に高評価となっていくことが確認できる。Wilcoxonの符号付き順位検定より、従来手法と提案手法の画質に関する項目以外において、有意水準5%で有意差が確認された。臨場感につながる快適感及び力量感に関しては、映像の内容が広視野化されることによって、従来手法及び提案手法の双方において改善が確認でき、提案手法において最も高い結果を示している。従来手法では、5.2項でも考察したように、周辺領域の再現性が低いため、力量感に関して拡大手法と差がないことが確認できる。同様に、スピード感に関しても、提案手法では注目部分に近い周辺領域においてオプティカルフローの再現性が高いため、より高いスピード感を与える結果となっている。これは、5.2項における重心動揺の発生に繋がっていると考えられる。画質に関しては、現視点フレームと過去視点フレームの両方を用いて広視野化を行う従来手法及び提案手法において高評価となった。

そして最後に、被験者が純粋にゲームを楽しめたかどうかを問う項目より、上記の要因が総合的に影響することで、提案手法によって生成された擬似広視野映像が、最も楽しさを与えることができるという結果が示された。これは、画質やスピード感などがコンテンツの楽しさにつながり易いレースゲームという題材を選択していることによる影響も無視できないと考えられる。全てのコンテンツにおいて視野内の映像のもつスピード感などが直接楽しさに直結し、広視野化が楽しさに繋がるとは言い切れないが、周辺視野領域がコンテンツを構成する要素として重要になってくるようなコンテンツでは、提案手法による擬似広視野化によって効果的に臨場感を高めることができると考えられる。

6. まとめ

奥行きモデルを用いた擬似広視野映像の実時間生成手法の提案と評価を行った。本提案により、インタラク션을伴うような既存映像コンテンツに対して効果的に擬似的な広視野映像を生成できた。この提案手法によって生成した映像を没入型ディスプレイで実現し、重心動揺を用いた客観評価とアンケートを用いた主観評価によって、違和感の少ない広視野映像が生成でき、コンテンツの持つ楽しさを高める結果となった。また、コンテンツの持つ楽しさを最も高める結果とな

った。今後の予定としては、より自由度の高いモデルで実時間性と近似精度との関係を確かめていきたい。また、今回の実験では広視野化の効果が得られやすいスピード感のあるドライビングゲームを用いたが、今後はシーンをゆっくりウォークスルーするようなコンテンツにも適用できるように拡張していきたい。また、直進運動を想定した奥行きモデルを用いたが、視点が回転運動するカーブを曲がるようなシーンにも対応していきたい。周辺視野におこるオプティカルフローの乱れによってどの程度違和感が生じているのかについてのより詳細な分析と影響について検証していきたい。

文 献

- [1] G. Humphreys, M. Eldridge, I. Buck, G. Stoll, M. Everett, and P. Hanrahan: "WireGL: A scalable graphics system for clusters", Proc.SIGGRAPH 2001, pp.129-140(2001) M.Levoy, P.Hanrahan: "Light Field Rendering", Proceedings of SIGGRAPH 1996, pp.31-42(1996).
- [2] G. Humphreys, M. Houston, R. Ng, R. Frank, S. Ahern, P. D. Kirchner, and J. T. Klosowski: "Chromium: A Stream Processing Framework for Interactive Rendering on Clusters", Proceedings of SIGGRAPH 2002, 2002.
- [3] 橋本直己, 石田善彦, 佐藤誠: "没入型ディスプレイシステムのための自動分散ソフトウェア環境", (a) 適応化処理なし No.2, (a) 適応化後 1).
- [4] 佐藤 智和, 池谷 彰彦, 池田 聖, 神原 誠之, 中島 昇, 横矢 直和: "動画像からの三次元復元による湾曲した紙面のビデオモザイク", 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2006)講演論文集, pp.98-105(2006).
- [5] 足立 智章, 小川 剛史, 清川 清, 竹村 治雄: "装着型カメラによるビデオモザイクを用いたテレプレゼンスシステムの実現", ヒューマンインタフェースシンポジウム, pp.943-948(2004).
- [6] R.Szeliski: "Image Mosaicing for Tele-Reality Applications", Proc.IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, Vol.1, pp.44-53(1994).
- [7] 千葉直樹, 蚊野浩, 美濃 導彦, 安田昌司: "画像特徴に基づくイメージモザイク", 信学論, Vol.J82-DII, No.10, pp.1581-1589(1999).
- [8] 橋本直己, 長谷川晶一, 佐藤誠: "マルチプロジェクションディスプレイ D-vision の開発" 映像情報メディア学会誌, Vol.58, No.3, pp.409-417(2004).
- [9] 江本正喜, 正岡顕一郎, 菅原正幸: "広視野映像システムの臨場感", 信学技法 Vol.106, No.496 (MVE2006-75), pp.25-30(2007).
- [10] 成田長人, 金澤勝, 湯山一郎: "ハイビジョン画像と立体ハイビジョン画像の心理要因分析", 信学技法 IE 98-165, pp.63-68(Feb.1999).