Vol.2018-CVIM-210 No.40
2018/1/19

全方位バレットタイム映像の生成提示システム

竹内 音[†1]　宍戸 英彦[†2]　亀田 能成[†2]　キム ハンソン[†3]　北原 格[†2]

概要：被写体の周囲に配置した多視点全方位カメラで撮影した画像群を連続的に切り替えるバレットタイム映像の生成提示システムを提案する．拡張バレットタイム処理では，多視点カメラの光軸が交わる地点（注視点）が画面の同一箇所で観察されるように各多視点画像に射影変換処理を施すことによって注視点の再設定処理を実現する．画角に制限のある透視投影カメラで多視点映像を撮影した場合，注視点を再設定する箇所によっては提示映像上に大きな余白領域が発生し，映像品質低下の一因となる．本稿では，全方位カメラを用いて多視点撮影をすることで余白発生問題を解消する全方位バレットタイム映像生成提示方式を提案する．VR 環境構築技術を活用することにより，多視点カメラのキャリブレーション，バレットタイム映像の生成，および，ヘッドマウントディスプレイを用いた没入型提示を効率的に処理する方法について述べる．

キーワード：バレットタイム映像，多視点撮影，全方位カメラ，キャリブレーション，ヘッドマウントディスプレイ

1. はじめに

近年，スポーツ中継や映画などの様々な分野で多視点映像技術が用いられ始めている．被写体の周囲に複数のカメラを配置し，撮影した画像をカメラの配置に従って順に切り替えることで，視点の移動感を提示する映像効果のバレットタイム映像は，その一例である[1]．撮影した画像をほぼそのままの状態で提示するため，3 次元復元処理の誤差の影響を受けやすい自由視点映像[2][3][4]と比べると，高品質な映像生成提示が可能である．

バレットタイム映像では，多視点カメラの光軸（観察方向）が空間中の一点（注視点）で交わっていると，滑らかな視点移動が実現される．多視点カメラを配置する際に，時間をかけて注視点を正確に設定することは可能だが，被写体が空間中を移動した場合，その周りを視点が移動する映像の生成が困難となる．Akechi らの拡張バレットタイム処理[5]では，注視点が画面上の同一箇所で観察されるように各多視点画像に 2 次元射影変換処理を施すことにより，撮影空間中の任意の地点への注視点設定を可能とした．しかし，一定の画角を有する（画角が有限な）透視投影カメラで多視点撮影をした場合，注視点を設定する地点によっては，図 1 に示すように多視点カメラで撮影されていない領域が観測されるような 2 次元射影変換が施されるため，結果として提示画面上に大きな余白領域が発生してしまう．

本研究では，画角に制限のない全方位カメラを多視点撮影に用いることで，余白領域の生じないバレットタイム映像の生成提示システムを提案する．余白領域の影響を受けないため，撮影空間のあらゆる地点を注視点に設定可能なバレットタイム映像の生成が可能となる．

その一方，全方位画像の導入によって新たな技術的課題が生じる．全方位カメラで撮影された全方位画像は，図 2 に示すような正距円筒図法で記録されるのが一般的である．

図 1　余白領域が発生したバレットタイム映像の例

図 2　正距円筒図法によって記録された全方位画像

この全方位画像は，上下左右 360 度（全天球）の空間を一つの画像面に記録しているため，一般的なコンピュータビジョンで取り扱われる透視投影（ピンホールカメラモデル）とは異なる射影幾何[6]であり，上下の端に近づくほど大きな歪みが生じる．

SIFT[7]に代表される局所特徴量はピンホールカメラモデル上で開発されており，全方位画像の歪みは考慮されていない．そのため，全方位画像を一旦透視投影画像に変換して歪みの軽減を図った後に，特徴点の抽出やカメラキャリブレーション処理等を行うのが一般的である[8][9]．また，我々人間の視覚もピンホールカメラモデルに基づいているため，閲覧者に映像を提示する際にも，透視投影変換したものを表示することが望ましい．

全方位カメラの普及により，Unity[10]に代表される VR

†1 筑波大学　理工学群　工学システム学類
College of Engineering Systems, School of Science and Engineering, Tsukuba University
†2 筑波大学　計算科学研究センター
Center for Computational Sciences, Tsukuba University
†3 Centre for Vision, Speech and Signal Processing, University of Surrey

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

環境構築プラットフォームに注目が集まっている．全方位画像を VR 環境中の CG 物体にマッピングし，それをバーチャルカメラで撮影することで，透視投影幾何画像を簡単かつ高速に取得することができる．また，バーチャルカメラで撮影した映像を姿勢センサ搭載型のヘッドマウントディスプレイ（HMD）などの提示デバイス上に表示することで，撮影シーンに没入したような感覚を閲覧者に与えることが可能となる．本研究では，この VR 環境構築技術を活用し，全方位画像から透視投影画像への変換処理，および映像提示を行う．

全方位画像から透視投影画像を生成する際，バーチャルカメラの画角が大きくなるほど広視野の空間情報を取得することができるが，図 3 のように画像の中心から離れるほど射影歪みが大きくなる．SIFT 特徴量はこのような射影歪みの影響を受けやすいため，バーチャルカメラの画角を適切に定める必要がある．また，透視投影画像生成時の隣接する透視投影画像間の重複率が，カメラパラメータ推定や 3 次元復元精度に影響を与えるため，それらについても検証する．

図 3　広角な透視投影画像の一例（水平画角：150 度）

2. 関連研究

2.1 バレットタイム映像

バレットタイム映像を生成する際，多視点カメラの光軸（観察方向）が空間中の一点（注視点）で交わっていると，滑らかな視点移動が実現される．最も原始的な方法は，マイクロメータ等を用いて多視点カメラの位置姿勢を精密に調整しながらカメラを設置することであるが，大規模空間を対象とした撮影では位置姿勢合わせの手間が膨大となるため現実的ではない．また，被写体が空間中を移動した場合，その周りを視点が移動する映像の生成が困難となる．

Kanade ら[11]は，アメリカンフットボールや野球などの大規模空間で行われるイベントを対象としたバレットタイム映像生成提示手法（Eye Vision）を開発した．撮影者が操作するカメラの位置姿勢情報から被写体の 3 次元位置を推定し，その被写体が画面の同一箇所で観察されるように他のカメラの姿勢を自動制御することで，移動物体を被写体としたカメラの切り替えによる滑らかな視点移動を実現している．しかし，単眼画像から 3 次元位置を推定するために被写体は常に地面に接しているという条件が存在し，3 次元空間中の任意の地点に注視点を設定することは困難であった．Ikeya ら[12]は，3 次元物体追跡技術とロボットカメラ制御技術を統合することにより，3 次元的かつ動的に注視点の設定が可能なバレットタイム映像生成法を提案している．しかし，ロボットカメラを用いる手法では注視点は映像制作者が設定しており，閲覧者が自由に設定することは困難である．

冨山ら[1]や Akechi ら[5]は，固定したカメラで多視点映像を撮影し，それらに対して撮影空間中のある 1 点が画像上の同一箇所で観察されるような 2 次元射影変換を施すことにより，任意地点の注視点に対して滑らかに視点が切り替わるバレットタイム映像生成法を提案している．ロボットカメラを使用しないため一般的な機材で撮影可能であり，注視点を映像閲覧時に設定可能（後付けできる）というメリットを有するが，一定の画角を有する透視投影カメラで多視点撮影を行う場合，注視点の再設定箇所によっては提示画像上に余白領域が発生し，映像品質低下の一因となる．

2.2 全方位画像を対象としたカメラトラッキング

正距円筒図法などで記録された全方位画像を用いたカメラトラッキング手法を紹介する．

Torii ら[13]は，全方位画像の歪みの大きくなる端の領域を除いた，歪みの少ない中心付近の部分のみを用いて，特徴点のマッチングやカメラパラメータの推定を行っている．全方位画像の一部分しか利用しないため，広い範囲を撮影可能な全方位カメラの特長を十分に活用していない．

Taira ら[14]は，球座標系で全方位画像を回転させ，歪みの大きい端の部分を歪みが少なくなる中心部分に変換することで，広視野の情報を有効活用しつつ正確なカメラトラッキングを実現している．

全方位画像の再投影による透視投影変換手法[8][9]も提案されている．Chen ら[8]は，水平画角 60 度，50%の重複率で透視投影画像を生成し，特徴点のマッチングを行っている．この手法は全方位画像を用いたカメラトラッキングの最も単純なアプローチであるが，透視投影画像を撮影するバーチャルカメラの画角や隣接する透視投影画像の重複率などは経験則から定められており，詳しい検証は行われていない．我々は 6 節においてその検証を行う．

また，球座標系での全方位画像の回転や，全方位画像の再投影は一定の計算コストを要するため，バレットタイム映像のように多数の視点で撮影した映像を同時に処理する場合，処理時間などの問題が生じる．我々は，急速に発展する VR 環境構築技術を活用することで全方位画像から透視投影画像への変換処理の簡易化・高速化を実現する．

3. 全方位バレットタイム映像の生成提示方式

図 4 に提案するシステムの概要について示す．まず，撮

影対象空間中の複数箇所に全方位カメラを設置して多視点全方位画像を撮影する．次に，VR 環境構築プラットフォームを用いて全方位画像から観察方向の異なる透視投影画像群を生成する．得られた多視点透視投影画像群に対して，Structure from Motion（SfM）を適用し，各透視投影カメラのパラメータと対応点群の 3 次元情報を推定する．推定されたカメラパラメータを用いて全方位カメラのパラメータを算出し，全方位画像をマッピングする球体モデル，および，3 次元点群を VR 空間上に配置する．配置された球体モデルの中心にバーチャルカメラを配置し，注視点の設定を行う．最後にバーチャルカメラの切り替えによって，バレットタイム映像の生成，および HMD への映像提示を行う．その際，注視点と全方位カメラの距離に応じて各バーチャルカメラのズーム値を操作し，被写体の見かけの大きさを一定に保つ．

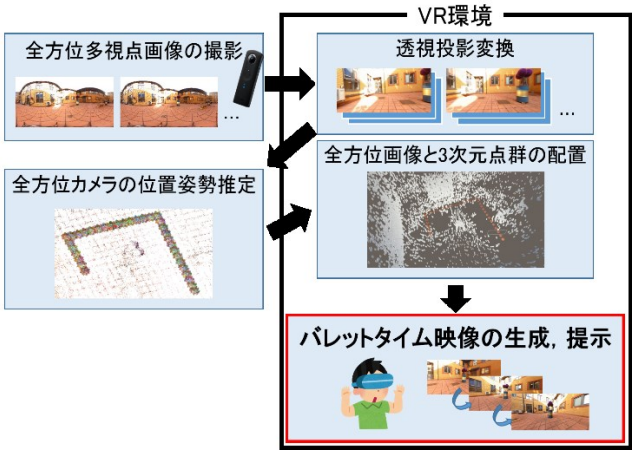

図 4　全方位バレットタイム映像の生成提示システム

4.　全方位バレットタイム映像の生成

4.1　全方位多視点画像の撮影

撮影対象空間の複数箇所に全方位カメラを設置し，多視点の全方位画像を撮影する．ここで設置したカメラの地点がバレットタイム映像の視点位置となる．この際，三脚等を用いてカメラの高さを揃えることにより，滑らかに視点が移動するバレットタイム映像の生成が可能となる．

4.2　全方位画像から透視投影画像への変換

VR 空間上に球体モデルを配置し，その内側に撮影した全方位画像をテクスチャとしてマッピングする．バーチャルカメラを，その光学中心が球体モデルの中心にくるように配置してレンダリングすることで，透視投影画像が生成される．このバーチャルカメラを球体中心の周りで水平方向に一定角度ずつ回転させながらレンダリング処理を繰り返すことにより，1 枚の全方位画像から観察方向の異なる複数枚の透視投影画像を生成する．この際のバーチャルカメラの画角と振り角度については，6 節にて考察する．同様の処理を撮影した全ての全方位多視点画像に対して行うことにより，撮影位置毎に多視点透視投影画像群を生成する．

4.3　全方位カメラの位置姿勢推定

前述した透視投影画像への変換処理で生成した多視点透視投影画像群に SfM を適用することで，個々の透視投影カメラのパラメータを推定するとともに，撮影空間の概形（3 次元点群）の復元を行う．全方位カメラのパラメータ（位置，姿勢）は，推定された透視投影カメラのパラメータから算出する．図 5 に示すように，ある全方位画像から生成した透視投影カメラ群の推定位置はほぼ同じ値となるため，推定カメラ位置で透視投影カメラをクラスタリングし，その代表値を全方位カメラの位置とする．理想的には推定位置はクラスタ毎に 1 点に定まるが，推定誤差を考慮してクラスタに含まれる推定カメラ位置の中央値などを代表値とする．全方位カメラの姿勢は，基準となる（例えば，光軸が全方位画像の画像中心を通過するように設定した）透視投影カメラの姿勢として算出する．

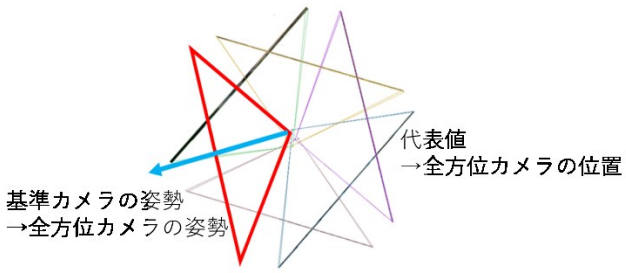

図 5　透視投影カメラ群による全方位カメラの位置姿勢

4.4　全方位画像と 3 次元点群の配置

図 6 に示すように，4.2 節で述べた全方位画像をマッピングした球体モデルを，4.3 節で推定した全方位カメラの位置，姿勢を用いて再配置する．また，復元された 3 次元点群の位置に対応させて VR 空間内にバーチャルオブジェクトを配置する．これは後述する注視点設定時の衝突判定に利用する．

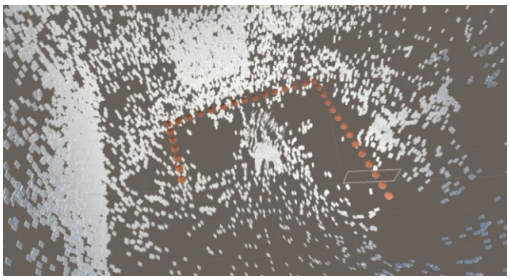

図 6　球体モデル（全方位画像）と 3 次元点群の配置

4.5　全方位バレットタイム映像の生成

4.3 節で推定した全方位多視点カメラの位置（球体モデルの中心）がバーチャルカメラの配置箇所となる．注視点の設定は，まず設定したい注視点の方向にバーチャルカメラ

を向け，バーチャルカメラの光軸と VR 空間内のバーチャルオブジェクトとの衝突判定を行う．衝突したと判定された際，この衝突地点を注視点と設定する．注視点の 3 次元座標と全方位カメラの位置情報から，注視点が画面上の同一箇所で観測されるように各バーチャルカメラの姿勢を算出し，順に切り替えていくことでバレットタイム映像を生成する．画角が有限な透視投影画像を使用したバレットタイム映像と異なり，注視点を撮影空間中のどのような地点に設定しても余白が生じることはない．

この際，注視点と全方位カメラまでの距離によって，バレットタイム映像上での見かけの大きさが変化する．本システムでは，バーチャルカメラの画角を変更することで(焦点距離の調整と同義)，被写体の見かけの大きさが一定となるような視覚効果を再現する．カメラ 2 台の場合を例に，注視点までの距離と見かけの大きさを一定にするための画角の関係を図 7 に示す．ここでは，Cam1,2 の画角をそれぞれ FOV, FOV', Cam1,2 と注視点までの距離をそれぞれ d, d' とする．Cam1 から Cam2 の映像に切り替わった際の画角 FOV' は，

$$FOV' = 2 \times \tan^{-1}\left(\tan\left(\frac{FOV}{2}\right) \times \frac{d}{d'}\right) \qquad (1)$$

と表される．

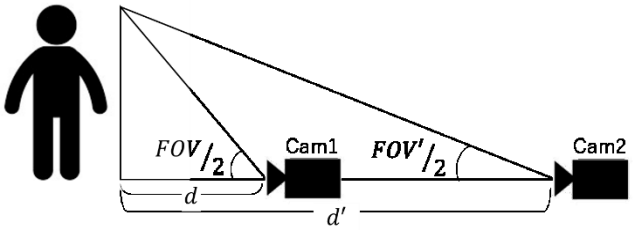

図 7　注視点とバーチャルカメラの距離と画角の関係

5. バレットタイム映像の提示

バーチャルカメラが取得した映像をディスプレイ上に表示させることで閲覧可能となるが，全方位バレットタイム映像の特長を利用し，没入型提示が可能な HMD を用いた提示法を紹介する．球面にマッピングされた全方位画像は球体の中心からの閲覧が望ましいため，HMD の位置変動はバーチャルカメラの位置設定には反映しない．HMD の姿勢情報とバーチャルカメラの姿勢を一致させることで，閲覧者は頭の回転運動に合わせた映像を観察できる．バレットタイムの実行時には，コントローラーを用いて 3 次元空間中の任意の地点に注視点を設定する．その場合，バーチャルカメラの姿勢を保持することで，HMD の画面中心に注視点が常に表示される．この時は，HMD の姿勢情報は回転運動を含めバーチャルカメラの設定に反映させない．注視点を設定した状態で，コントローラーを用いて観察視点を順に切り替えることで， HMD 上にバレットタイム映像を提示する．

6. 透視投影カメラの画角・重複率の設定

1 節で述べたように，透視投影画像は広角になるほど射影歪みが顕著に観測される．この射影歪みが与える影響を，SIFT 特徴量を用いて検証する．SfM には VisualSfM[15]を使用する．

6.1 透視投影カメラの画角

参照とする全方位画像の一部を注目物体として取り出し，注目物体が画面中央と画面左端で観察された 2 枚の透視投影画像を生成する．この 2 枚の透視投影画像に対して SIFT 特徴量を利用したマッチングを行い，RANSAC[16]により外れ値を除去する．図 8 にその概要を示す．これを水平画角 50 度から 10 度刻みで 140 度まで行い，2 画像間の対応点と正答率の推移を調べた結果を図 9 と図 10 に示す．

図 9，図 10 より，水平画角が大きくなるほど対応点が減少しており，また水平画角が 140 度を超えると対応点が完全に取れていないことがわかる．しかし，図 10 より水平画角 130 度以下の正答率は 70%を上回っており，特徴点のマッチング誤りは少ないことがうかがえる．この結果より，水平画角が 140 度以上の超広角の場合は射影歪みの影響が大きいが，130 度程度までは SIFT を用いたマッチングが有効に機能することがわかる．

図 8　水平画角の変化によるマッチング精度検証の概要

6.2 隣接する透視投影カメラの重複率

画像間の重複率によって推定される透視投影カメラの位置がどの程度変動するのかについて検証する．1.2m 間隔で L 字型に配置した全方位カメラによって撮影された，5 枚

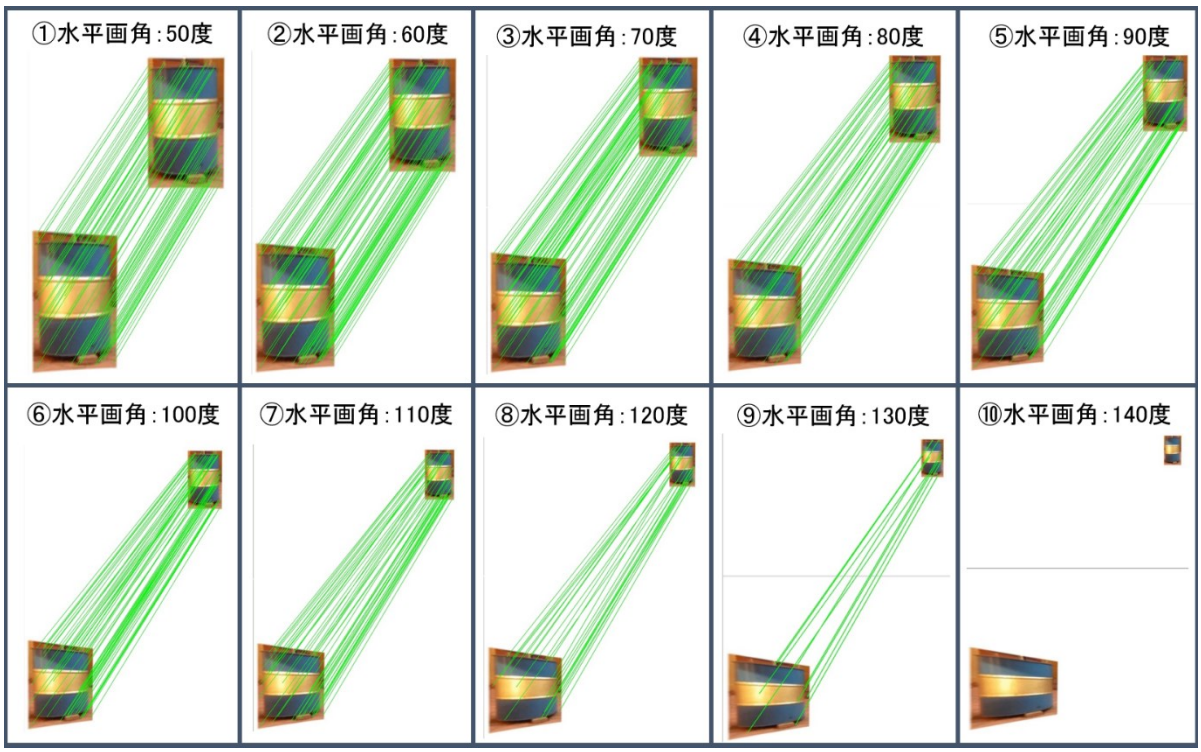

図 9　2 画像間のマッチング結果

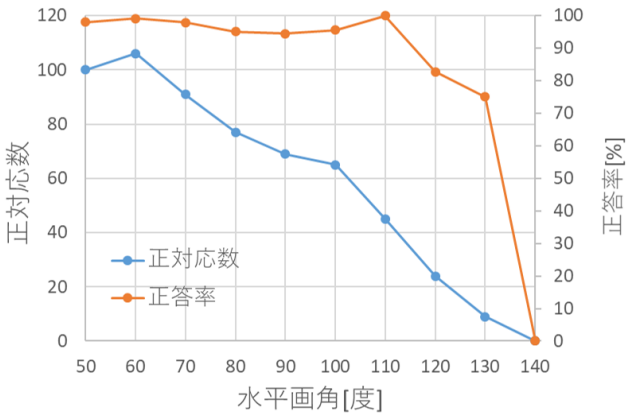

図 10　画角変化における正対応数と正答率

の全方位画像を用いて，透視投影変換処理と SfM を実行する．バーチャルカメラを水平方向に一定角度回転させながらレンダリング処理をすることで透視投影画像を取得するが，この一回の回転角（振り角度）は生成したい透視投影画像の枚数（分割数）によって定まる．透視投影画像間の重複率は，水平画角を f[度]，分割数を n とすると，

$$100 \times \frac{f - \frac{360}{n}}{f} \quad [\%] \qquad (2)$$

と計算され，画角と分割数によって定められる値となる．図 11 に水平画角と重複領域の関係を示す．今回，バーチャルカメラの水平画角は 50 度から 130 度まで 10 度刻みで使用し，重複率を変えながら透視投影画像を取得する．透視投影変換された画像群を SfM に適用することによって，各透視投影カメラの位置を推定する．全方位カメラの位置はクラスタリングされた透視投影カメラ毎に中央値で与えられ，あらかじめ計測しておいた全方位カメラ間の距離を用いて実世界のスケールに変換する．そして，各透視投影カメラと推定される全方位カメラの位置の 3 次元距離の誤差の平均値を計算する．この値は推定カメラ位置のばらつき具合を表す指標であり，ここでは誤差平均と呼ぶこととする．この誤差平均の値から画角と重複率の評価を行う．

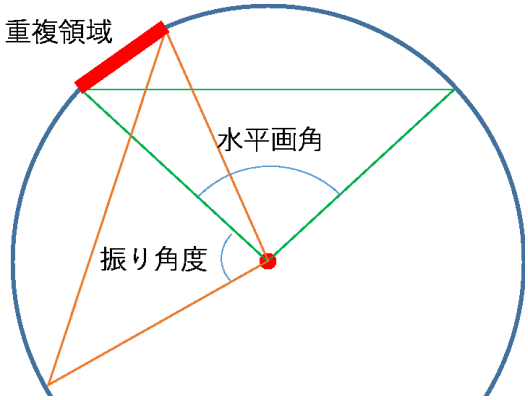

図 11　水平画角と重複領域

図 12 にその結果を示す．図 12 より，誤差平均は概ね 10cm 以下であり，重複率が 50%から 60%を超えた辺りからは，ほぼすべての画角について誤差が 3cm 程度に抑えられており，安定した値を示していることがわかる．重複率が 50%を超えると，隣接する 3 台の透視投影カメラが全方位画像中のある 1 点を観測することができるようになるた

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

めだと考えられる．全体的に水平画角が大きいほど精度は良くなっているが，水平画角が 130 度となったときには精度が落ちている．これは，射影歪みの影響によりマッチング精度が低下したことが原因と考えられる．また，重複率が小さい場合には，全ての画像を同一空間で撮影されたものと推定されず，全方位カメラの位置姿勢を算出できなかった．

これらの結果では，最も良い精度でカメラ位置が推定されるのは，水平画角が比較的広角な 120 度のときであった．注視点を設定する際の衝突判定に用いるバーチャルオブジェクトは SfM による 3 次元復元の結果より配置されることからも，広範囲な注視点の設定には広角なバーチャルカメラを使用することが適しているといえる．したがって，全方位バレットタイム映像の生成では，透視投影画像を撮影するバーチャルカメラの水平画角は 120 度，重複率は 62.5%（分割数：8 枚）が適切であることがわかった．

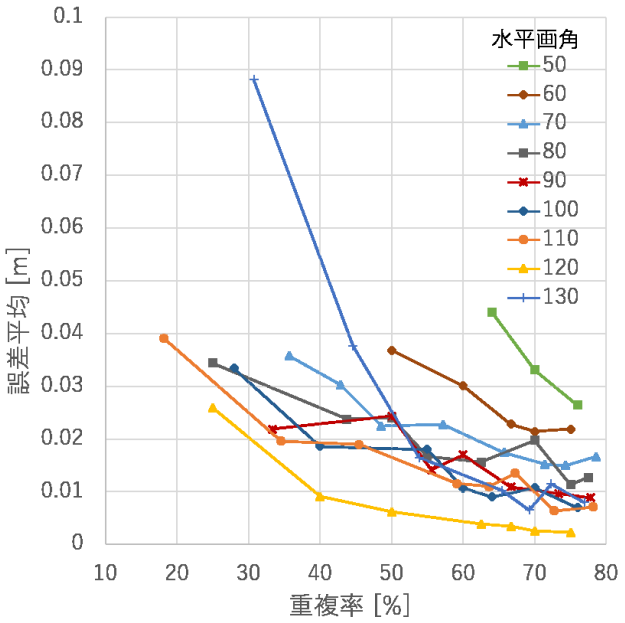

図 12　水平画角と重複率に対する誤差平均

7. 実証実験

7.1 撮影環境

提案手法の実証実験として，英国 Surrey 大学の中庭において撮影実験を実施した．撮影カメラには，RICOH 社の全方位カメラ THETA S[17]を使用し，図 13 に示すように，34 か所，40cm 間隔で撮影を行った．撮影して得られた全方位画像の解像度は，5376 画素×2688 画素である．また本実験の処理には，CPU : Intel Core i7-7700HQ 2.80GHz，GPU : NVIDIA GeForce GTX 1060，メモリ：16.00GB RAM を装備したノート PC を用いた．提示方法としては HMD と PC 上のディスプレイを使用し，HMD には HTC 社の HTC Vive[18]を使用した．透視投影画像へのレンダリング処理，VR 空間の構築には Unity 2017.2 を使用し，カメラパラメータ推定のための SfM には VisualSfM を用いた．映像提示中に図 13 中の“drum”（ドラム缶と紫色の物体）と“door”（建物の出入り口）を注視点とすることで，バレットタイム映像の生成，及び提示を行った．また，4.5 節で述べた被写体の見かけの大きさ補正の効果について，補正前後を比較することにより検証する．

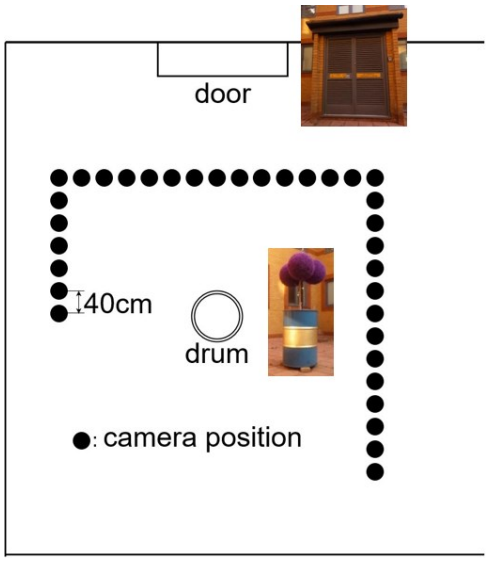

図 13　撮影実験における全方位カメラの配置

7.2 映像生成提示実験と考察

SfM によって推定されたカメラ群と 3 次元復元された点群を図 14 に示す．全方位カメラの誤差平均は，0.597cm となり，高い精度で推定されていることがわかる．また，HMD を用いたバレットタイム映像提示の様子を図 15 に示す．HMD を使用することにより，あたかもその場にいるような没入感を得られることができた．

ディスプレイ上にて提示されたバレットタイム映像の見かけの大きさ補正前後の様子を，図 16 と図 17 に示す．両図ともに，上 2 段のバレットタイム映像では，注視点を“drum”に設定しており，注視点を画面中央で観察しながら視点が移動している様子が確認できる．2 段目，3 段目の間で観察対象を変更しており，下 2 段のバレットタイム映像では，“door”を注視点に再設定した．観察視点移動に伴い，新たに設定した注視点を画面中央で観察していることが確認できる．余白が全く発生しないことに加え，多視点カメラで囲まれた空間の外側に存在する“door”にも注視点を設定することが可能であり，全方位バレットタイム映像の利点が確認できる．図 16 では画角は常に一定であるため，注視点と全方位カメラまでの距離によって被写体の見かけの大きさが変わってしまうことがわかる．一方，図 17 では視点移動毎に適切な画角変更の操作を施しているため，見かけの大きさが一定に保たれていることが確認できる．

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

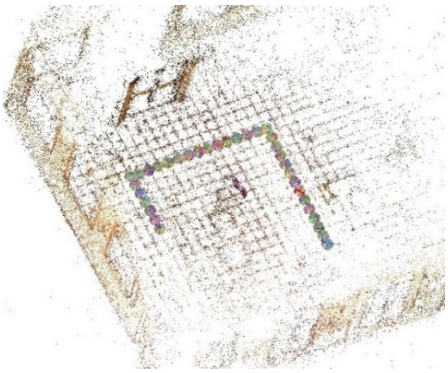

図 14　SfM によるカメラの位置姿勢と 3 次元復元結果

図 15　HMD による映像提示の様子

図 16　全方位バレットタイム映像の生成結果（補正なし）

図 17　全方位バレットタイム映像の生成結果（補正あり）

8. おわりに

本研究では，全方位多視点画像を用いたバレットタイム映像の生成提示システムについて提案した．全方位カメラの使用により，注視点再設定時に発生する余白領域の問題を解消し，観察可能範囲を大幅に拡張したバレットタイム映像の生成を実現した．また，復元された 3 次元点群の活用による映像閲覧中の注視点の再設定や，HMD を用いた提示手法の提案を行った．本研究は科研費（17H01772）の助成を受けたものである．

参考文献

[1] 冨山仁博，岩舘祐一．多視点ハイビジョン映像生成システムの開発．映像情報メディア学会誌. 2010, vol.64, no.4, p. 622-628.

[2] 北原格，大田友一，斎藤英雄，秋道慎志，尾野徹，金出武雄．大規模空間における多視点映像の撮影と自由視点映像生成．

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan

映像情報メディア学会誌. 2002, vol.56, no.8, p1328-1333.
[3] 上田恵, 有田大作, 谷口倫一郎. 多視点動画像処理による 3 次元モデル復元に基づく自由視点画像生成のオンライン化 ―PC クラスタを用いた実現法―. 情報処理学会論文誌, 2005, vol.46, no.11, p.2768-2778.
[4] T. Shin, N. Kasuya, I. Kitahara, Y. Kameda, and Y. Ohta. A Comparison Between Two 3D Free-Viewpoint Generation Methods - Player-Billboard and 3D Reconstruction -. 3DTV Conference 2010, 2010.
[5] N. Akechi, I. Kitahara, R. Sakamoto, and Y. Ohta. Multi-Resolution Bullet-Time Effect. ACM SIGGRAPH Asia 2014, 2014.
[6] 樋口正明, 高野孝英, 苗村健, 原島博. 球面直交展開を用いたパノラマ全周画像の記述. 3 次元画像コンファレンス'99, 1999, p.31-36.
[7] D. G. Lowe. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. IJCV, 2004, vol.60, no.2, p.91–110.
[8] D. M. Chen, G. Beatz, K. Köser, Sam S. Tsai, R. Vedantham, T. Pylvänäinen, K. Roimela, X. Chen, J. Bach, M. Pollefeys, B. Girod, and R. Grzeszczuk. City-Scale Landmark Identification on Mobile Devices. CVPR, 2011 IEEE Conference on, 2011, p.737-744.
[9] A. Torii, J. Sivic, M. Okutomi, and T. Pajdla. Visual Place Recognition with Repetitive Structures. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2015, vol.37, no.11, p.2346-2359
[10] "Unity". https://unity3d.com/jp, (参照 2017-12-08).
[11] T. Kanade et al. "Eye Vision". http://diva.library.cmu.edu/Kanade/kanadeeye.html, (参照 2017-12-08).
[12] K. Ikeya, and Y. Iwadate. Multi-Viewpoint Robotic Cameras and their Applications. ITE Transactions on MTA, 2016, vol.4, no.4, p.349-362.
[13] A. Torii, M. Havlena, and T. Pajdla. From google street view to 3D city models. ICCV Workshops, 2009 IEEE 12th International Conference on, 2009, p.2188–2195.
[14] H. Taira, Y. Inoue, A Torii, and M. Okutomi. Robust Feature Matching for Distorted Projection by Spherical Cameras. IPSJ Transactions on CVA, 2015, vol.7, p84-88.
[15] C. Wu. "VisualSFM: A Visual Structure from Motion System". http://ccwu.me/vsfm/, (参照 2017-12-08).
[16] M. A. Fischler, and R. C. Bolles. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. Communications of the ACM, 1981, vol.24, no.6, p.381-395.
[17] "RICOH THETA S". https://theta360.com/ja/about/theta/s.html, (参照 2017-12-08).
[18] "VIVE". https://www.vive.com/jp/, (参照 2017-12-08).

ⓒ 2018 Information Processing Society of Japan