

ユーザの仮想カメラ操作を考慮した 位置姿勢補正による自由視点映像の生成

大川原 友樹[†] 北原 格[‡] 亀田 能成[‡] 大田 友一[‡]

[†] [‡] 筑波大学 大学院システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†] okawara@image.esys.tsukuba.ac.jp, [‡] {kitahara, kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 我々は、自由視点映像生成においてユーザが脳裏にイメージする見たい映像としての情報を損なわずに、映像としての見やすさを向上させる仮想カメラ位置姿勢補正手法を提案する。本手法は、解像度のより高いテクスチャが撮影可能な位置へ仮想カメラを配置するための操作支援と、ユーザ操作により指定した仮想カメラの位置及び姿勢に対してオクルージョンを回避し構図を整えるように適切に補正する仮想カメラ位置姿勢補正によって構成される。補正量が大きすぎるとユーザが期待する映像と異なる映像となる可能性があるため、ユーザに許容してもらえる範囲内で仮想カメラ位置姿勢を補正する仕組みを提案する。実験により、ユーザが入力した仮想カメラ操作を自動的かつ適切に補正することが、見やすさ向上に貢献することを確認した。

キーワード 自由視点映像, 仮想カメラ制御手法, 位置姿勢補正, 撮影技術

A Virtual Camera Pose Adjustment Method for 3D Free-viewpoint Video in Consideration to User Operation

Tomoki OKAWARA[†] Itaru KITAHARA[‡] Yoshinari KAMEDA[‡] and Yuichi OHTA[‡]

[†] [‡] Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

E-mail: [†] okawara@image.esys.tsukuba.ac.jp, [‡] {kitahara, kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract We propose a virtual camera pose adjustment method for 3D free-viewpoint video in high quality. By showing better camera position area, a user can adjust the position of the virtual camera so that can see better texture of players. The position and location of the virtual camera is also adjusted by the system silently so as to reduce the overlap between players and to realize better framing. We conducted subjective evaluation to confirm the effectiveness of our proposed method.

Keyword free-viewpoint video, virtual camera control, adjustment control method, photographing technique

1. はじめに

自由視点映像技術とは、多視点映像を解析することにより、本来、カメラを設置不可能な位置からの見えを生成する技術である[5][13][14][16][21]。自由視点映像では仮想カメラの位置と姿勢について制御する必要があるため、これまでにユーザの直感的な視点操作を実現するインタフェースについて研究が盛んに取り組まれてきた[8][11][12][23]。これらのインタフェースの台頭により、ユーザは直感的な仮想カメラ操作によって3次元コンテンツを視れるようになりつつある。ところが、ユーザは映像の専門知識や撮影技法[4]に馴染みがないため、見たい場所や方向を示すことはできてもそれを映像として見やすいものにするための技術がない。

本研究では、Figure 1 に示すように仮想カメラ位置

姿勢入力時の支援とカメラ操作量の自動補正によって、高解像度、オクルージョンがなく、構図の見やすい映像生成を実現する手法を提案する。これにより、ユーザは補助情報を参照し、見たい位置方向に仮想カメラを向けるだけで、あとは提案手法に基づくシステムによって見やすい映像を生成することができる。このとき、ユーザの仮想カメラ操作（見たさ）と映像の見やすさを両立させるために、ユーザによる映像許容度という尺度を導入し、補正量を抑制する仕組みを提供する。

本稿で定義する見やすい自由視点映像とは、被写体のCGが高解像度であり、被写体同士の重なりが少なく、被写体の移動方向を考慮したフレーミングである、という3要素を満たした映像である。

映像中に重畳提示される被写体CGの解像度は、仮想カメラの位置に応じて変化するため、鮮明に写る位

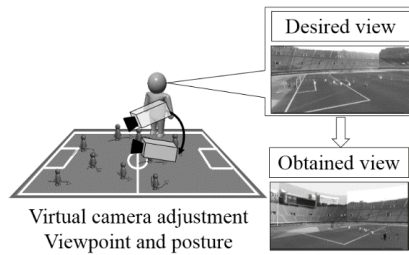


Figure 1. 提案手法概略図

置に仮想カメラを配置することで映像品質は向上する。本手法では、ユーザに対して被写体 CG を高解像度で撮影可能な位置を視覚的に教示することで見やすい映像が生成できるようにユーザを誘導する。

選手のオクルージョンは集団競技に見られ、その重なりがなるべく少なくなる位置方向に仮想カメラを配置すれば映像の見やすさは向上する。選手の位置姿勢は刻々と変化するため、ユーザの手動による仮想カメラ操作ではオクルージョン回避は困難である。本手法では、仮想カメラの視点位置を自動的に補正することでオクルージョンが回避された映像を生成する。ただし、補正量が大きすぎるとユーザが入力した位置姿勢から得られるはずの映像と大きく異なってしまうため、見た目の違いが映像として許容される範囲内で視点位置を補正する。

フレーミングについては、選手の移動方向を考慮した構図は先の状況が把握しやすくなり映像の見やすさを向上させる。スポーツ競技においてフィールド上の選手は絶えず移動していることが多いため、卓越したカメラマンは移動する選手を撮影するとき、移動方向に余白をあけた撮影技法を適用することが一般に知られている。ユーザが構図を意識して仮想カメラを操作することは稀であるため、注視する選手を画面中心に配置しがちである。本手法では、仮想カメラが動かされていない状況下で、仮想カメラの姿勢を3分割構図に近づける自動補正を行う。

2. 関連研究

見やすい映像を生成する一般的な手法として、映像の専門知識や映像技法に基づき仮想カメラの動きをモデルとして与えることで、映像を自動生成するアプローチ[7][17][18]が考えられる。競技映像を閲覧する場合は、ユーザ毎に見たい対象が異なるため、これらの手法ではユーザの希望、即ち見たさを反映した映像を生成することが困難である。事前アンケートやユーザの視点操作を事前に解析することにより、ユーザの希望を反映した映像生成に取り組む研究も報告されている[1][2][22]。これらの提案では、仮想カメラのモデルにユーザの希望を組み込むことに成功している。しかし、この手法ではユーザが3次元空間中で直接、見た

いものを自由を選べないという点において不自由である。

高解像度カメラを用いたデジタルカメラワークによって、鮮明な被写体 CG を獲得する研究[15][19]がある。本研究で対象とする多視点ベースの自由視点映像生成手法[14]では、仮想カメラの位置に応じて映像中に重畳提示されるテクスチャの解像度が異なる。そのため、高解像度カメラを用いた場合でもより鮮明なテクスチャが得られる位置から撮影することが望ましい。

人体のセルフオクルージョンや建物同士のオクルージョンを回避した映像を生成する研究[6][10]も報告されている。膨大な幾何情報量をモデルとして保持し、オクルージョン判定することは高精度である反面、計算コストが膨大であるため多人数との間で判定をする可能性の高いサッカーシーンには適用しにくい。

競技映像を対象として、被写体の移動方向を考慮した撮影技法に関する研究[3][18]がある。被写体の移動方向に余白を空ける前空き技法はフレーミングに即した見やすい映像を生成できる。自由視点映像では、仮想カメラを3次的に配置する必要があるため、パン動作に限定された前空き技法では画面の余白を十分に活用しきれておらず不十分である。

3. 自由視点映像の生成

本研究は、Koyama らの自由視点映像技術[14]を活用して自由視点映像を生成する。多視点ベースの CG 合成手法では、ある時間の被写体 CG の解像度は撮影カメラ毎に異なる。多視点映像から得られた複数のテクスチャのうち、テクスチャを貼り付ける優先順位は仮想カメラの光軸と、各撮影（実）カメラの光軸とのなす角の小ささで与えられる。そのため、あるプレーヤに注目するとき、テクスチャが切り替わる仮想カメラの領域は Figure 2 のようになる。

仮想カメラ操作インターフェースについて、本研究では渡邊らのシステム[23]を用いる。ユーザは、仮想カメラの視点位置マーカーと注視点位置マーカーの二つのマーカーを両手に持ち、3次元空間中で2点を直接指定することにより仮想カメラを操作する。マーカー間の距離（観察距離： l_t ）は、ピッチ上のスケールに従い変換される。Figure 3 に示すように、ユーザの正面及び操作空間の手元に設置されたディスプレイに対して、自由視点映像及び仮想俯瞰映像が提示される。

4. ユーザの仮想カメラ操作を考慮した位置姿勢補正

本章では、被写体 CG が高解像度でオクルージョンがなく構図の取れた見やすい映像生成を実現するための方策について説明する。

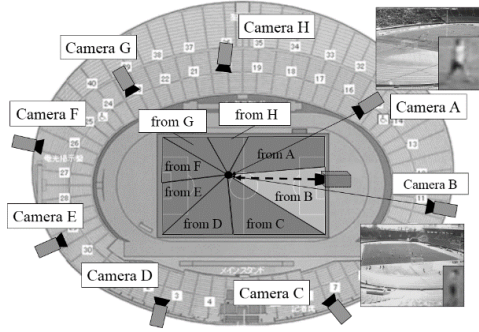


Figure 2. テクスチャの切り替わる領域

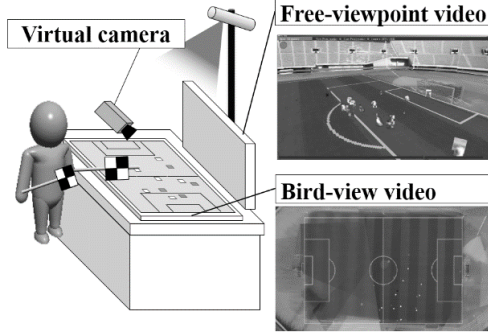


Figure 3. ユーザによる仮想カメラ操作と提示ディスプレイの関係

4.1. 高解像度映像が撮影可能な推奨エリア提示

本節では、ユーザが注目する被写体 CG を高解像度にしていくための補助情報として、観測解像度を算出し仮想俯瞰映像に描画されるフィールド面に視覚的な教示を行う手法について述べる。

ユーザが指定した注視点マーカの 3 次元位置 $\mathbf{P}_g$ の近傍に選手がいるとき、その選手を被写体とする。スタジアムに配置された合計 N 台の撮影カメラ k から得られた多視点映像において、ある時刻の解像度 $S_k (k = 1, \dots, N)$ を算出し、使用するテクスチャが切り替わる領域ごとに S_k の値に対応した色でフィールド面を塗りつぶす。解像度が低くなる領域を赤に、解像度が高くなる領域を青に設定することで、観測解像度の状態を視覚的に教示する。

被写体の観測解像度 S_k をフィールド面に提示したようすを Figure 4 に示す。被写体を中心に観測されるテクスチャの解像度に応じて色分け提示されていることが確認できる。仮想カメラの位置を青い領域、即ち推奨エリアに配置することで、被写体 CG が高解像度のテクスチャが得られる。

4.2. 視点操作を考慮したオクルージョン回避処理

ユーザが入力した仮想カメラから撮影した映像にオクルージョンが発生しうるとき、補正による映像がユーザに許容される範囲内でオクルージョンがなるべく少ない位置に視点位置を補正する。この問題をオク

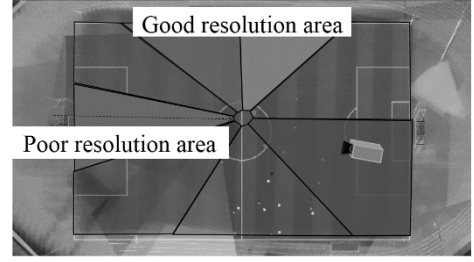


Figure 4. 仮想俯瞰映像への推奨エリア提示

ルージョンの度合いで表す $E_{occlusion}$ と補正による許容度を表す $E_{tolerance}$ とのバランスを取るエネルギー最小化問題に帰着することで解決する。

時刻 t における補正量 $\mathbf{d}_t$ は、注視点位置マーカを固定とした状態で仮想カメラの視点位置を水平方向（方位角）及び垂直方向（仰角）に回転させる量である。ユーザが入力した視点位置マーカの 3 次元位置 $\mathbf{C}_u$ における方位角及び仰角 $\hat{\varphi}, \hat{\theta}$ とするとき、レンダリングに使用する視点位置 $\mathbf{C}_r$ における方位角及び仰角 φ, θ は、次式(1)に従い計算する。

$$\begin{pmatrix} \varphi \\ \theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{\varphi} \\ \hat{\theta} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta\varphi \\ \Delta\theta \end{pmatrix} \quad (1)$$

時刻 t における補正量 $\mathbf{d}_t = (\Delta\varphi, \Delta\theta)$ は、次式(2)に示す目的関数 $E(\mathbf{d}_t)$ の持つエネルギーが最小となる値として決定する。

$$E(\mathbf{d}_t, l_t) = wE_{occlusion}(\mathbf{d}_t) + (1-w)E_{tolerance}(\mathbf{d}_t, l_t) \quad (2)$$

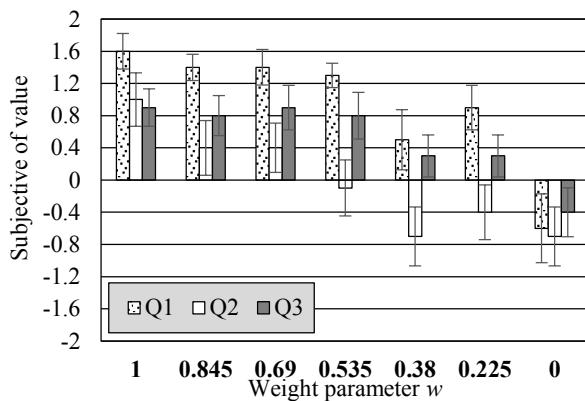
重み係数 w は、主観評価実験を実施することで適切な値に設定する。Table 1 に示す 3 項目に対して、5 段階のリッカード尺度により回答した結果を Figure 5 に示す。Steel-Dwass の多重検定を用いて検定した結果、質問 1 及び質問 3 に対する回答結果に対して、重み係数が $w \geq 0.535$ である各試行と $w = 0.000$ である試行との区間に 5% の有意差が認められた。また、 $w \leq 0.535$ である各試行の質問 2 に対する回答結果が負数を取っているため、 $w = 0.535$ を採用した。

4.2.1. オクルージョン度 $E_{occlusion}$

$E_{occlusion}$ は、任意の視点位置から観測された被写体の解像度と、他選手との画面上での重なり面積との割合で表す。時刻 $t-1$ におけるユーザが入力した視点位置から $\mathbf{d}_{t-1}$ だけ移動した視点位置をオクルージョン判定の位置とする。オクルージョンを検出したとき、時刻 t において、ユーザが入力した視点位置を基準に上下左右に微小量動かし、オフスクリーンに擬似レンダリングすることにより、 $\mathbf{d}_t$ の近傍での $E_{occlusion}$ を求め、あとは補間によって周辺の値を求める。

Table 1. 重み係数 w のための主観評価実験の評価項目

項番	質問内容
Q1	補正処理によって、被写体と他選手とのオクルージョンが回避されたと思いますか
Q2	補正処理によって、ユーザの意向が反映されない映像を提示していたと思いますか
Q3	補正処理によって、被写体の状況把握に役立つカメラワークを実現できたと思いますか

Figure 5. 重み係数 w における評価実験結果

4.2.2. 許容度 $E_{tolerance}$

$E_{tolerance}$ は、ユーザ入力による仮想カメラの映像に比べて補正後の映像が、ユーザとしてその補正を許容できるかどうかを示す指標である。補正許容度モデル構築のための実験では、20-30 代の合計 10 名の被検者に対して Table 2 に示す全 27 通り ($3 \times 3 \times 3$ 通り) に補正值として取りうる d_t と観察距離 l_t の定義域すべてに対して、補正量 0 と補正量 d_t とで主観評価で比較して数値化した。実験により得られた値は、上下左右に対称性を持つと仮定して、定義域中の任意の d_t と l_t について、測定値の線形加重和で $E_{tolerance}$ を得る。

4.3. 3分割法構図による仮想カメラ姿勢補正

3分割法[4]とは、画面を縦横に3等分した線分の交点に被写体を配置する撮影技法である。仮想カメラが動かされていない状況下で、仮想カメラの姿勢を補正し、被写体を画面の縦横に3等分した線分の交点に被写体を配置して撮影する。

仮想カメラがあまり動かない静的な状況では、ユーザは被写体を画面中央に配置しがちである。視点位置マーカーと注視点位置マーカーとのなす角度を求めることにより、角速度を算出し静的な状況を認識し仮想カメラの姿勢を補正することで、Figure 6 に示すように、3分割法による姿勢補正を実現する。補正する水平及び垂直方向については、過去 M フレームを平滑化した

Table 2. 補正許容度モデル構築実験の種類

観察距離	25, 50, 100	[M]
補正する方向	下, 左, 左下	
補正量	5.0, 10.0, 15.0	[deg]

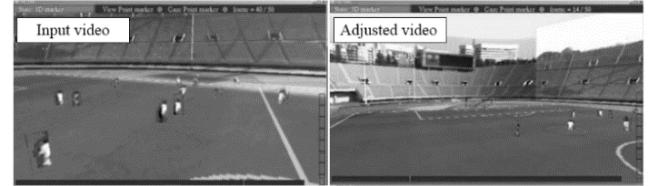


Figure 6. 入力映像と3分割構図による補正映像

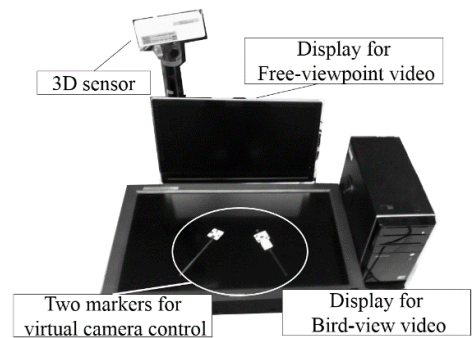


Figure 7. システム外観図

値を選手の運動方向として、被写体の運動方向により広い余白ができるよう位置を選択する。

5. 有効性検証実験

5.1. システムの実装

提案手法を用いたシステムを、以下の機材を用いて構築した。映像提示及び仮想視点制御用 PC として MouseComputer Lm-i530B(Intel Core i5 3.2GHz 2.0GB RAM)を使用した。自由視点映像提示ディスプレイとして、BenQ E2400HD(解像度 1920×1080 画素)を使用し、フィールド俯瞰映像提示ディスプレイとして、三菱 LDT322V (解像度 1366×768 画素)を使用した。また、仮想カメラの位置姿勢を決定するために、MicronTrackerSx60(サンプリング周波数 48Hz)[9]を使用して、2つのマーカーの3次元位置を計測する。映像提示については、3章で説明したように、Koyama らの人物ビルボード方式を用いて、フレームレートは 30[fps]で自由視点映像の生成および提示を行う。そのため、3分割法で使用する被写体の運動方向算出のための参照フレームは、0.26[s]($M=8$)と設定した。Figure 7 に構築したシステムの外観図を示す。

5.2. 推奨エリア提示による有効性検証実験

5.2.1. 実験手順

観測解像度情報に基づく推奨エリア提示により、被写体の CG の解像度が向上するか検証を行った。

Table 3. 推奨エリア提示による
検証実験の評価項目

項番	質問内容
Q1	提示した観測解像度情報を利用することで、解像度がより高い位置へ仮想カメラを動かしましたか

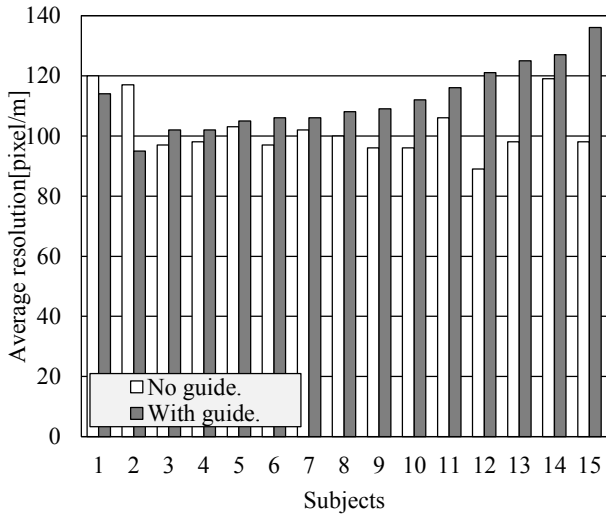


Figure 8. 撮影された被写体の観測解像度の平均値

被検者は仮想俯瞰映像に提示される観測解像度情報の説明と事前練習を十分に行った上で、フィールド上に描画された一名の選手を 100 秒間追尾し、なるべく高解像度な映像が得られるよう視点操作をする。仮想俯瞰映像に観測解像度情報を提示した場合と、提示しない場合の二通りの試行を実施し、それぞれ試行が終わる度に Table 3 に示す質問に対して 5 段階のリッカード尺度により回答してもらう。順序効果による影響を軽減するために、被験者によって試行順序を変えて実験を進めた。試行を開始する仮想カメラの初期位置を、観測解像度が最小となる位置にすることで、見やすい映像を獲得するためには仮想カメラを移動せざるを得ない状況をつくっている。被検者は、20-30 代の被験者 15 名で実験を実施した。

5.2.2. 結果と考察

Figure 8 に 3000 フレームに渡り撮影された被写体 CG の解像度の平均値を示す。上述した質問に対して否定的な回答をした被検者の結果を Subject 1-2 と、肯定的な回答をした被検者の結果を Subject 3-15 としてソーティングして表示する。

肯定的な回答をした被検者は、提示をしないと比べて観測解像度が 1.00 から 1.40 倍向上したため見やすい映像を生成しているのに対して、否定的な回答をした被験者は、観測解像度が低下していることが読み取れる。

5.3. 仮想カメラ補正に対する有効性検証実験

5.3.1. 実験手順

仮想カメラ位置姿勢補正により、ユーザの希望である見たさと見やすさが両立しているか検証するために主観評価実験を実施した。フィールドに 23 名の選手が描画された合計 60 秒間のシーンを用意した。被験者は、事前に手法の概要説明を受けた。見やすい映像が生成されるように指示を与え、視点操作するタスクを 2 回繰り返す。各試行を終える毎に、Table 4 に示す質問項目に対して 5 段階のリッカード尺度により回答する。順序効果による影響を軽減するため、Table 5 に示す合計 4 試行について 4×4 ラテン方格法に基づき被検者毎に試行の順番を変えた。提案手法の有効性を検証するために、20-30 代の被験者 15 名に対して実験を実施した。

5.3.2. 結果と考察

試行 A,B,C と試行 D の区間に対する Steel-dwass の多重検定による結果を Figure 9 に示す。

4.2.1 項で述べた許容度の効果により、試行 B（オクルージョン補正）の質問 1 の評価値は試行 A,B,C の中で最大であるが、質問 3 について統計的有意差を確認することができない。オクルージョン補正では、補正量 d_t がある程度発生するため、ユーザの見たい映像を生成したという意味で映像を悪化させていないが、見やすさの向上には貢献できなかった。

試行 C（フレーミング補正）は、マーカを静止していれば必ず補正が適用されるため、質問 1 の結果は最小だが試行 D との区間に統計的な有意差は確認されていない。従って、補正による影響は小さいもしくは無視できると判断できる。見やすさの向上を問う意図として質問 2 及び質問 3 では、試行 D との区間に 1% の統計的有意差を確認した。3 分割法の適用により、見やすい映像を撮影できたといえる。

オクルージョン補正とフレーミング補正を適用する試行 A では、質問 2 及び質問 3 において試行 D との区間に統計的な有意差を確認することができたが、試行 B,C との区間に統計的な有意差を確認することができなかった。位置と姿勢が同時に補正されることで、仮想カメラの補正量が増大したこと、仮想カメラを補正する頻度が高いことが評価を下げた要因として考えられる。

今回の評価実験によって、フレーミング補正は見やすさ向上に貢献することが確認された。

6. まとめ

本稿では、仮想カメラ位置姿勢入力時の支援とカメラ操作量の自動補正によって、高解像度でオクルージョンのない構図の見やすい映像生成を実現する手法を

Table 4. 仮想カメラ補正による評価実験の評価項目

項番	質問内容
Q1	正仮想カメラの補正により生成した映像は、許容できる範囲内でしたか
Q2	仮想カメラの補正により生成した映像は、構図の整った映像でしたか
Q3	仮想カメラの補正により生成した映像は、見やすい映像でしたか

Table 5. 仮想カメラの補正による評価実験の試行種類

項番	適用内容
A	オクルージョン補正及びフレーミング補正
B	オクルージョン補正
C	フレーミング補正
D	補正なし

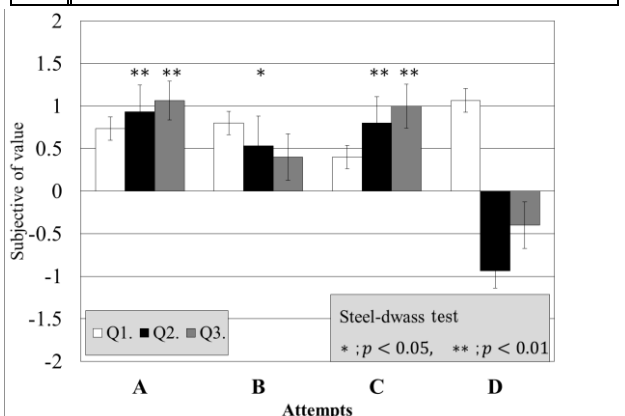


Figure 9. 仮想カメラ補正による主観評価実験結果

提案した．これにより，ユーザは補助情報を参照しながら，位置方向にカメラを向けるだけで，あとは提案手法に基づくシステムによってユーザが見やすい映像を自動的に獲得できる．また，ユーザの希望（見たさ）と映像の見やすさを両立させるため，ユーザによる映像許容度という尺度を導入し，補正量を抑制する仕組みを用意した．操作支援処理と補正処理について有効性検証実験を実施し，有効性を確認した．

文 献

- [1] A.Khan, I.Mordatch, G.Fitzmaurice, J.Matejka, G.Kurtenbach, ViewCube: A 3D Orientation Indicator and Controller, Proc.I3D, pp.17-25, Feb.2008.
- [2] B. William, A Photographic Composition Assistant for Intelligent Virtual 3D Camera Systems, Journal of Smart Graphics(LNCS), vol.4073, pp.172-183, 2006.
- [3] D. Kato, T. Kutsuura, H. Koyama, Automatic Control of a Robot Camera for Broadcasting Based on Cameramen's Techniques and Subjective Evaluation and Analysis of Reproduced Images, Journal of physiological anthropology and applied human science, Vol. 19, No. 2, pp.61-71 (2000).
- [4] D. Ablan, I. Nishii, K. Akiyama, N. Ohta, CINEMATOGRAPHY&DIRECTING, pp.127-128 2002.
- [5] G. Ye, Y. Liu, Y. Deng, N. Hasler, X. Ji, Q. Dai, and C. Theobalt, Free-Viewpoint Video of Human Actors Using Multiple Handheld Kinect, IEEE Trans. Cybernetics, vol.43, no.5, pp.1370-1382, Oct.2013.
- [6] J. Assa, D. Cohen-Or, I-C. Yeh, T.-Y. Lee, Motion overview of human actions, ACM Trans.Graph, vol.27, no.115, Dec.2008.
- [7] J. Assa, L. Wolf, D. Cohen-Or, The Virtual Director: a Correlation-Based Online Viewing of Human Motion, Computer Graphics Forum, vol.29, no.2, pp.595-604, May.2010.
- [8] J. Kashiwakuma, I. Kitahara, Y. Kameda, Y. Ohta, A Virtual Camera Controlling Method Using Multi-Touch Gestures for Capturing Free-viewpoint Video, EuroITV, pp.67-74, June.2013.
- [9] Micron Tracker explanatory leaflet, http://www.clarontechn.com/platforms_microntracker.php.
- [10] M. Christie, J.M. Normand, P. Olivier, Occlusion-free camera control for multiple targets, Proc. ACM SIGGRAPH, pp. 59-64, Aug.2012.
- [11] M. Hachet, F. Decle, S. Knödel, P. Guitton, Navidget for 3D interaction: Camera positioning and further uses, IHCS, vol.67, no.3, pp.225-236, Mar.2009.
- [12] N. Inamoto, H. Saito, Virtual Viewpoint Replay for a Soccer Match by View Interpolation From Multiple Cameras, IEEE Trans. Multi, vol.9, no.6, pp.1155-1166, Oct.2007.
- [13] T. KANADE, P. Rander, P.J. Narayanan, Virtual-ized Reality: Constructing Virtual Worlds from Real Scenes, IEEE Trans.Multi., vol.4, no.1, pp.34-47, Jan.1997.
- [14] T. Koyama, I. Kitahara, Y. Ohta, Live Mixed-Reality 3D Video in Soccer Stadium, ISMAR, pp.178-188, July.2003.
- [15] T. Yokoi, H. Fujiyoshi, Virtual Camerawork for Generating Lecture Video from High Resolution Images, ICME, pp.73-76, July.2005.
- [16] R. Hamid, R. Kumar, J. Hodgins, I. Essa, A visualization framework for team sports captured using multiple static cameras, J.CVIU, vol.118, pp.171-183, Jan.2014.
- [17] D. Rudoy, L. Zelnik-Manor, Viewpoint selection for human actions, IJCV, vol.97, no.3, pp.243-254, 2012.
- [18] R. Abdullah, M. Christie, G. Schofield, C. Lino, P. Oliver, Advanced Composition in Virtual Camera Control, J.Smart. Graph. (LNCS), vol.6815, pp.13-24, 2011.
- [19] Y. Arikawa, S. Kubota, M. Kumano, Automatic Production System of Soccer Sports Video by Digital Camera Work Based on Situation Recognition, Proc. IEEE MIPR, pp.851-860, Dec.2006.
- [20] 江村恒一，青木輝勝，安田浩，“隠れマルコフモデルに基づくインタラクティブな仮想カメラワーク遷移制御”，映メ学誌，vol.62, no.5, pp.743-754, May.2008.
- [21] 糟谷望，北原格，亀田能成，大田友一，“サッカーシーンにおける選手視点映像提示のためのリアルタイム選手軌跡獲得手法”，画電学会誌，vol.38, no.4, pp.395-403, July.2009.
- [22] 北原格，橋本浩一郎，亀田能成，大田友一，“サッカーの自由視点映像提示における気の利いた視点選択手法”，TVRSJ, vol.12, no.2, pp.171-280, Jun.2007.
- [23] 渡邊哲哉，北原格，亀田能成，大田友一，“正確で直感的なカメラ操作を可能とする両手を用いた自由視点映像撮影インタフェース”，信学論(D), vol.J95-D, no.3, pp.687-696, Mar.2012.