論 文

多視点映像コンテンツによるオンサイト視覚フィードバック方式

On-site Visual Feedback System with Multi-View Video Contents

永井隆昌[†], 宍戸英彦^{††}, 亀田能成^{††}, 北原 格^{††}
Takasuke Nagai [†], Hidehiko Shishido ^{††}, Yoshinari Kameda ^{††} and Itaru Kitahara ^{††}

あらまし 本稿では、多視点映像の撮影からバレットタイム映像コンテンツの生成・提示までのすべての処理をリアルタイムで実行するオンサイト視覚フィードバック方式について述べる。被写体が移動する動的なシーンにおいてオンサイト視覚フィードバックを実現するためには、提示映像のリアルタイム生成処理に加え、注視点のリアルタイム設定も必要となる。被写体の位置をリアルタイムで検出可能な3次元センサとバレットタイム映像生成方式を組み合わせ、計測位置情報に基づいた注視点の自動設定を実現する。さらに、トラッキング情報を活用した拡張現実技術により多視点映像コンテンツの視覚フィードバック機能を拡張する。

キーワード:多視点映像,バレットタイム映像,リアルタイム,注視点再設定,3次元追跡,拡張現実技術

1. ま え が き

視覚フィードバックの導入により運動トレーニングや技能習得の効率化を目的とした研究開発に注目が集まっている $^{1)\sim3}$. 第三者視点から被写体を観測することにより,身体や動作の客観的な観察や状況把握が可能となり,パフォーマンス向上に効果があることが報告されている. 従来の視覚フィードバック方式では,鏡や数台のカメラで撮影した映像をモニタに提示するため,視点を連続的に移動させながら(視点の移動感を伴いつつ)多様な角度で被写体を観察することは困難である. 3次元形状復元処理やモーションキャプチャ装置を用いて被写体のCG (Computer Graphics) モデルを生成し,それをHMD (Head Mounted Display) などで観測 $^{4)\sim6}$ することにより多様な角度からの観察は可能となるが,計算機で合成された環境や自己像の違和感が観察の妨げになることが懸念される.

われわれは、多数のカメラで同一シーンをさまざまな角度から撮影した多視点映像を用いることにより、上述した問題を解決する視覚フィードバック方式の実現を目的とした研究に取り組んでいる。多視点映像を効果的に提示する技術の一つにバレットタイム映像である。バレットタイム映像は、撮影時のカメラ配置に応じて多視点映像を順番に切り替えながら提示することにより、被写体の周りを飛び回るような視覚効果を実現する映像技術である。自由視点映像と異なり、撮影シーンの3次元形状を推定する必

要がないため、高品質な映像を高速に生成・提示することが可能であり、オンサイト視覚フィードバック方式との親和性が高い.

視覚フィードバックに要する時間は短いほど効果的であるとされている。本研究では、運動トレーニングを対象に、リアルタイムでバレットタイム映像を生成し、練習者・指導者にフィードバック(オンサイト視覚フィードバック)することを目的とする。

多数のカメラで撮影された膨大な多視点映像データの計算機への取り込み処理、および、バレットタイム映像生成・提示に要する計算コストの問題により、多視点映像をリアルタイム視覚フィードバックに用いることは困難である。本研究では、すべてのカメラを1台の計算機で制御することにより映像伝送時間を最短化し、さらに、各時刻において提示に必要となる視点情報に基づいて、多視点カメラを選択的に切り替えながら計算機に取り込むことにより、映像取得処理コストを低減しリアルタイム性を実現する。

バレットタイム映像では、滑らかな視点切り替えを実現するために、多視点カメラの光軸が撮影空間中の一点(注視点)で交わるようにカメラの姿勢を調整する必要がある。この処理を注視点設定処理という。富山ら90や明智ら100は、閲覧者が自由に注視点を再設定できるバレットタイム映像生成手法を提案している。それらの手法では、被写体が移動する度に注視点情報を入力する必要があるため、スポーツのように被写体が絶えず移動する動的なシーンへの適用は現実的とは言い難い。本研究では、リアルタイム3次元センサとリアルタイムバレットタイム映像生成方式を組み合わせることにより、注視点再設定の自動化を実現する。

さらに本研究では、視覚フィードバック機能の拡張を行う. バレットタイム映像では、被写体を多面的に観測でき

²⁰¹⁸年2月13日受付,2018年6月7日再受付,2018年7月31日採録 † 筑波大学 大学院システム情報工学研究科

^{(〒305-8577} 茨城県つくば市天王台1-1-1, TEL 029-853-6246)

^{† †} 筑波大学 計算科学研究センター

^{(〒 305-8577} 茨城県つくば市天王台1-1-1, TEL 029-853-6487)

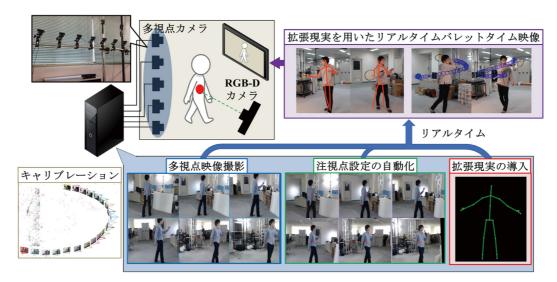


図1 提案手法の流れ

カメラの位置姿勢情報を用いて、"バレットタイム映像生成"、"注視点自動設定"、"拡張現実提示"のすべての処理をリアルタイムで実行し被写体へのオンサイト視覚フィードバックを実現する。

る反面, 観察視点が移動するため基準指標の確認が難しくなることが予想される. 本稿では, 拡張現実技術を用いて運動の基準となる指標や手本動作を可視化することよりオンサイト視覚フィードバック機能を拡張する.

2. 多視点映像によるリアルタイム視覚フィー ドバック方式

リアルタイムバレットタイム映像提示方式に、注視点の 再設定自動化機能を付加し、さらに、拡張現実提示を統合 した、オンサイト視覚フィードバック方式の概要を図1に 示す.被写体の周囲に複数台のカメラ(以下,多視点カメ ラ)とRGB-Dカメラを設置する.多視点カメラはバレット タイム映像を生成するための多視点映像を撮影する. RGB-Dカメラで撮影したRGB-D映像に人物姿勢検出処理を適用 し被写体の3次元位置やボーン情報を推定する. 多視点映 像とRGB-D映像にSfM (Structure from Motion) 11) を適用 しカメラパラメータを推定する。 それらのカメラパラメー タとRGB-D映像から推定した被写体の3次元位置を用いて 注視点再設定の自動処理を実現する. RGB-D映像から推定 した被写体のボーン情報を利用し、バレットタイム映像に CGを重畳(拡張現実提示)することで、視覚フィードバッ ク機能を拡張する. バレットタイム映像生成, 自動注視点 設定、拡張現実提示の三つの処理をリアルタイムで処理す ることにより、バレットタイム映像のオンサイト視覚 フィードバックを実現する.

3. リアルタイムバレットタイム生成

3.1 多視点映像の撮影

リアルタイムで多視点映像を計算機に取り込む処理について述べる。図2に示すように、被写体を取り囲むように 多視点カメラを設置する。カメラの設置位置はバレットタ イム映像の視点切り替わりの滑らかさに影響するため、可

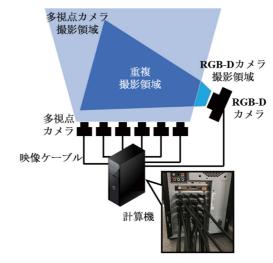


図2 リアルタイムバレットタイム生成方式 多視点カメラとRGB-Dカメラの重複撮影領域が広くなるように設置 し、全カメラを1台の計算機に結線する。

能な限り同一面上に設定する.一方,カメラの姿勢は後述する注視点再設定処理によって調整可能であるため,おおよそ同一領域を撮影するよう設定すれば良い.多視点カメラは,映像ケーブルでバレットタイム映像生成用計算機に結線する.撮影した映像を計算機に直接取り込むことにより,記録メディアを介したオフライン映像データのハンドリングの作業をなくしリアルタイム撮影を実現する.リアルタイムバレットタイムでは,視点を切り替える際,撮影時刻も進むため,同じタイミングで撮影した映像の切り替えが発生しない.そのため,3次元復元処理などとは異なり、多視点映像の同期撮影は必ずしも要求されない.

3.2 多視点カメラのキャリブレーション

多視点カメラの内部・外部カメラパラメータを推定するために、SfMを用いたカメラキャリブレーションを行う。SfMでは、まず画像特徴量¹²⁾を用いて画像から特徴点を抽

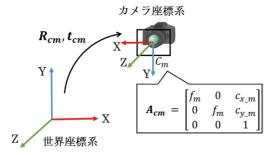


図3 SfMによるカメラパラメータ推定

出し、多視点画像間での対応点を検出する。その対応点情報からカメラのモーション(相対的な位置姿勢情報)を推定し、同時に、ステレオ視により対応点の3次元位置を推定する。これらの処理をすべての画像対について行った後、バンドル調整¹³⁾を適用することで対応点の3次元位置とカメラパラメータを推定する。

N個の多視点カメラについてキャリブレーションを行う際、カメラ $C_m(m=1,...,N)$ の内部パラメータ行列 A_{cm} は式(1) のように表される.

$$\boldsymbol{A_{cm}} = \begin{bmatrix} f_m & 0 & c_{x_{-}m} \\ 0 & f_m & c_{y_{-}m} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

ここで、SfM によって推定したカメラ C_m の焦点距離を f_m 、カメラの光軸と画像平面の交点の画像座標を (C_{x_m}, C_{y_m}) とする。図3に示すように、世界座標系に対するカメラ C_m の位置と姿勢をあらわす回転行列 R_{cm} と平行移動ベクトル t_{cm} もSfM によって推定することができる。以上の処理は、多視点カメラ設置後に実施し、リアルタイム実行時には推定したパラメータを利用する。

3.3 バレットタイム映像の生成

バレットタイム映像は、カメラ配置にしたがって映像を切り替えることで生成される。計算機に複数台のカメラを接続する場合、計算機が認識した順にカメラ番号を割り振るため、その順番は必ずしも配置順とはならない。本システムでは多視点カメラのシリアル番号を用いて配置に従ったID番号を各カメラに付与することで、カメラ配置に従った映像切り替えを実現する。

システムを起動すると、計算機は多視点カメラを起動し、 多視点映像の取り込みを開始する、計算機は一定時間毎に 映像更新の信号をカメラに送り、観察画面に対応したカメ ラからフレームを取得し、提示映像を更新する。ある時間 において、使用する映像は観察画面に対応するカメラの映 像のみであるため、それ以外のカメラの映像は棄却する。 観察画面を変更すると、同様にそれに対応するカメラの映 像のみ取得する、取得する映像をカメラ1台に限定するこ とで、処理コストを軽減し高フレームレートを実現する。

4. 注視点再設定の自動化

4.1 注視点の3次元位置推定

バレットタイム映像の観察者が画面のポインティング操作などにより、ある多視点画像 $I_m(m=1,...,N)$ において新たな注視点を与えた際の、注視点の3次元位置推定処理について述べる。まず、3.2節で推定したカメラパラメータ情報を用いて、注視点が入力された画像 I_m と、画像 I_m に乗かり、画像 I_m に与えられた注視点 I_m に明れて、中の本では視点 I_m に明れて、中の本では視点の I_m に明れて、中の本では視点の I_m に明れて、中の大きなのでは、中の大きないた注視点の対応点を探索することにより、注視点の対応点 I_m に加い、 I_m 、 I_m 、 I_m 、 I_m 、 I_m I_m

4.2 2次元射影変換行列の算出

前節で与えた新たな注視点が同一座標で観測されるようにすべての多視点画像に対して2次元射影変換を施す処理を図4に示す。画像 I_m の光学中心から注視点に向かう単位ベクトル e_{mz} を、画像 I_m のカメラ座標系における新たなz軸とする。 e_{mz} と世界座標系のY軸負方向の二つを外積した単位ベクトル e_{mx} を新たなx軸とする。 e_{mx} と e_{mz} の外積を e_{my} 新たなy軸とする。 e_{mx} , e_{my} , e_{mz} を用いて、回転行列 R'_{cm} を式(2)により求める。元画像に R'_{cm} を施すことにより注視点が画像中央で観察される。

$$R'_{cm} = \begin{bmatrix} e_{mx} \\ e_{my} \\ e_{mz} \end{bmatrix} \tag{2}$$

4.3 内部パラメータ行列の算出

内部パラメータを調整することにより、視点切り替わり時に注目物体の見た目の大きさが変化しないようにする。各カメラの焦点距離の平均 f_{ave} を求め、注視点が与えられた画像を撮影するカメラからシーン中の注視点までの距離 d_i 、各多視点カメラから注視点までの距離 d_m を求め、式(3)により新たな内部パラメータ行列 A'_{cm} を算出する。ここで、 f'_m は式(4)により求めた値である。元画像に A'_{cm} を施すことにより、視点切り替え時に注目物体の大きさが

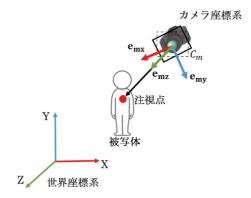


図4 カメラ座標系の変換

一定に保たれる.

$$\mathbf{A}'_{cm} = \begin{bmatrix} f'_m & 0 & c_{x_{-}m} \\ 0 & f'_m & c_{y_{-}m} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
 (3)

$$f'_m = f_{ave} \frac{d_i}{d_m} \tag{4}$$

注視点へのズームイン・アウト処理を再現するスケール変換行列Sを加えて、式(5)により2次元射影変換行列 H_m を算出する。各画像に求めた2次元射影変換行列を施すことにより、すべての画像で注視点が同じ座標に投影され、かつ視点移動時に注目物体の大きさが一定に保持されるバレットタイム映像が生成される。

$$H_m = SA'_{cm}R'_{cm}R^{-1}_{cm}A^{-1}_{cm} \tag{5}$$

4.4 注目点自動設定

被写体に取り付けたマーカを手がかりに3次元位置姿勢を測定する手法では、被写体の動きを制限しかねず、スポーツシーンへの適用が困難である。2台以上のカメラで撮影した画像にOpenPose¹⁴⁾などを適用し、人物ボーン推定結果にステレオ視を適用することによって被写体の位置姿勢を求めることも可能となりつつあるが¹⁵⁾、スポーツ現場に持込可能な計算機資源で多視点映像を取得しつつ2台以上のカメラ映像に対しリアルタイムでボーン推定処理を行うことは現実的ではない。また、同期撮影による撮影システムの複雑化も懸念される。これらの状況を踏まえ、本稿では、被写体の位置姿勢のリアルタイム計測が可能なRGB-Dカメラを導入することにより、提案するバレットタイム生成処理のリアルタイム性を損なわずに、なるべく簡易なシステム構成で、被写体上にリアルタイムで注視点の自動設定を行う方法について述べる。

RGB-D映像に人物姿勢検出処理を適用し、被写体の3次元位置をリアルタイムで取得する。この時、被写体の推定位置は、RGB-Dカメラの赤外線カメラ (Depth カメラ)を原点とした3次元座標である (RGB-Dカメラ座標系)。3.2節で述べたカメラキャリブレーション処理をRGB-Dカメラにも適用し、外部パラメータ R_k 、 t_k を推定する。それらの値を用いて図5に示すように、RGB-Dカメラ座標系の3次元座標 $M_k(X_k,Y_k,Z_k)$ を世界座標系の3次元座標 $M(X_t,Y_t,Z_t)$ に変換する。

RGB-D映像から推定した被写体の3次元位置を新たな注視点として与えることで、4.1節で述べたポインティング操作を行うことなく、注視点を自動で設定することが可能となる。3次元位置推定と注視点設定処理をフレーム毎に繰り返すことにより、自動で被写体上に注視点が設定される被写体追跡型バレットタイム映像が生成される。

5. 拡張現実技術を用いた視覚フィードバック 機能の拡張

リアルタイムバレットタイム映像をオンサイトで視覚的

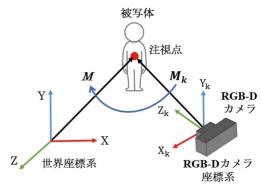


図5 RGB-Dカメラ座標系と世界座標系の変換

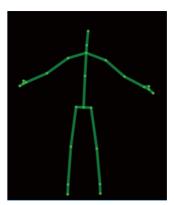


図6 被写体のボーン情報

にフィードバックすることにより、自己像のさまざまな角度からの観察が可能となる。一方で、動作の指標となる情報が提示されないため、視点移動時に正しい動作とのズレを確認したり動作を修正したりするのが困難な場合がある。本節では、拡張現実を用いてリアルタイムバレットタイム映像に指標となる動作の情報を重畳し、視覚フィードバックを拡張する手法について述べる。

指標となる動作は、RGB-D映像に人物姿勢検出処理を適用した結果(図6に示すような被写体のボーン情報)からリアルタイムで生成する。ボーン情報は各骨格の世界座標系における3次元位置情報が記述されている。その3次元座標を透視投影変換で観察画面上の2次元座標に変換し、その箇所にCGを描写する。各多視点画像について同様の処理を行うことにより、視点を移動した時も幾何学的整合性が再現された拡張現実提示が可能となる。

6. 実証実験

6.1 実験環境

本実験では、図7に示すように、21台の多視点カメラをコの字型(約110°の角度でカメラが被写体を取り囲む状態)に配置し、被写体が撮影空間内を自由に移動する様子を撮影した。約120cmの高さに固定した棒に、クランプを用いてカメラを取り付ける。3次元位置センサとしてMicrosoft社のKinect v2を使用することにより、被写体の3次元位置姿勢を簡易な構成(センサを1台追加)でリアルタイムに取

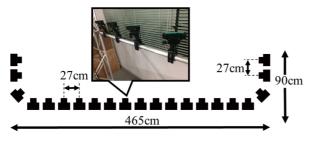


図7 カメラ配置と取り付けの様子

得する.

多視点映像の取り込みからバレットタイム映像提示までの処理は、CPU (Intel® Xeon® CPU E5-1620 v3 3.50 GHz, GPU:NVIDIA GeForce GT710) を搭載したデスクトップPCで行う。また、本処理中の2次元射影変換処理はピクセル毎に独立して計算可能なため、GLSLを用いてGPUによる並列計算を行う。撮影にはLogicool社のWebカメラc920rを21台使用し、すべてのカメラを1台のPCと20mのUSB2.0ケーブルで有線接続する。画像の解像度はVGA(640画素×480画素)、撮影速度は30fpsである。Kinect v2は多視点カメラと同様にPCにUSBケーブルで接続し、30fpsで被写体追跡を行う。3.2節で述べたSfMの処理はVisualSFM 16 を用いて実行する。

6.2 適用結果と考察

提案システムを用いて,リアルタイムバレットタイム映像を生成した結果を紹介する.

表1にシステム中で行う処理と各処理に要する平均時間とその標準偏差を示す。フレームの抽出から映像出力までのシステム内部で行う処理は、全体で約1.5 ms 程度で完了する。一方、映像の遅延時間は約120 ms であるが、これはカメラから計算機までデータを伝達する時間が大部分を占めている。約120 ms の遅延は時間的ずれを知覚させないため¹⁷⁾、視覚フィードバックとして短い時間であると考えられる。

被写体の正面にモニタを設置し、生成したリアルタイムバレットタイム映像を提示した様子を図8に示す。実際にパフォーマンスを行ってから遅延時間がほとんどないリアルタイムバレットタイム映像によるオンサイト視覚フィードバックに成功している。

注視点の自動設定処理の結果について述べる。被写体は 図9に示す経路で移動する。図10は図9の経路上の各位置 ①から⑥における提示映像である。移動する被写体上の適 切な位置に注視点が自動設定されていることがわかる。

リアルタイムバレットタイム映像に拡張現実技術により CGを重畳した結果について述べる。図11(上)はあらかじめ取得した手本動作のCGをバレットタイム映像に重畳した結果である。図11(下)は被写体の右手の軌跡をバレットタイム映像に重畳した結果である。両方の結果ともにリアルタイムで提示されたものであり、視点移動を行った場合も幾何学的整合性を保ちながら拡張現実提示映像の閲覧

表1 システムの各処理時間

処理	平均時間(s)	標準偏差
フレーム抽出	1.05×10^{-3}	5.31×10^{-4}
3次元位置推定	2.50×10^{-6}	4.99×10^{-5}
注視点再設定	3.02×10^{-5}	1.71×10^{-4}
CG 重畳	4.12×10^{-4}	4.95×10^{-4}
映像出力	1.00×10^{-6}	3.16×10^{-5}
合計	1.49×10^{-3}	



図8 リアルタイムバレットタイム映像の表示

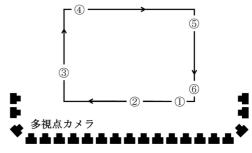


図9 被写体の移動経路 被写体は①から⑥に移動する.



図10 被写体追跡(赤丸は注視点)

が可能である.図11(上)は拡張現実提示した教示動作を 追従しながら練習を行っている様子を示したものであり、 透視投影変換による提示位置ズレと追従ズレの2種類のズ





図11 CGをバレットタイム映像へ重畳した様子

レが混在している.透視投影変換によるCGの提示位置のズレのみを計測した結果は平均4.5 画素,標準偏差0.6 であった.VGA解像度(640 画素×480 画素)の画像上で観測される人物像の腕の太さが20 画素程度,足の太さが35 画素程度であることを考えると,提示位置ズレ量が動作確認に与える影響は小さいといえる.一方,追従ズレは,利用者が教示動作(視覚フィードバック)に合わせて体を動かせるか等その身体制御能力に依存するため,本システムの性能評価とは切り離した議論が適当であろう.今後は,追従ズレから利用者の習熟度を推定するなどスポーツトレーニング指標としての活用を検討する予定である.

7. む す び

本研究では、注視点再設定処理を自動化したリアルタイムバレットタイム映像を生成し、さらに拡張現実技術により視覚フィードバック機能を拡張するシステムを提案した。実証実験の結果から、リアルタイムでバレットタイム映像を生成可能であり、動的な被写体に対し、手動の操作を必要とせずに、適切な注視点の自動設定が可能であることを示した。また、拡張現実技術を用いてバレットタイム映像の拡張を行い、さらに効果的な視覚フィードバックの可能性を示した。今後は、本システムを利用して視覚フィードバックの拡張効果に関する検証・評価実験を行う予定である。本研究の一部は、JSPS科研費、JP25280056、JST CREST JPMJCR14E2の助成を受けたものである。

〔文献〕

- 1) 村山光義, 村松憲, 佐々木玲子, 清水靜代, 野口和行: "動作映像の 即時フィードバックを用いた技術指導の効果-フライングディスク・ サイドアームスロー導入時の事例-", 慶応義塾大学体育研究所紀要, 46, 1, pp.1-15 (2007)
- 2) 小澤治夫,石田譲, 岡崎勝博,西嶋尚彦: "鉄棒単元におけるスポーツミラーによる運動画像の即時フィードバックの効果", 釧路論集:北海道教育大学釧路校研究紀要, 35, pp.1-6 (2003)

- 3) 佐々木直基: "視覚的フィードバックが運動スキル獲得に与える影響", びわこ成蹊スポーツ大学研究紀要, 8, pp.121-127 (2011)
- 4) 本荘直樹、伊坂忠夫、満田隆、川村貞夫: "HMDを用いたスポーツスキルの学習方法の提案"、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、10、1、pp.63-69 (2005)
- 5) 柴田傑, 玉本英夫, 松本奈緒, 三浦武, 横山洋之: "学習者中心のインタラクティブ舞踊学習支援システムの開発", 信学誌D, J97-D, 5, pp.1014-1023 (2014)
- 6) 中村裕基, 柳井香史朗, 中川純希, 温文, 山川博司, 山下淳, 淺間一: "重畳映像を用いた動作学習支援システムにおける映像提示視点の自動決定", サービス学会第3回国内大会講演論文集, pp.236-240 (2015)
- J.G.Lou, H. Cai and J. Li: "A Real-Time Interactive Multi-View Video System", MULTIMEDIA '05 Proceedings of the 13th annual ACM international conference on Multimedia, pp.161-170 (2005)
- 8) 池谷健佑, 久富健介, 片山美和, 三科智之, 岩館祐一: "複数フレームで視点切り替え可能なぐるっとビジョン", 映像情報メディア学会 冬季大会講演予稿集, 9-1 (2014)
- 9) 冨山仁博,宮川勲,岩舘祐一: "多視点ハイビジョン映像生成システムの試作-全日本体操選手権での中継番組利用-",電子情報通信学会技術研究報告. PMRU,パターン認識・メディア理解,106,429,pp.43-48 (2006)
- 10) N. Akechi, I. Kitahara, R. Sakamoto and Y. Ohta: "Multi-Resolution Bullet-Time Effect", SA'14 SIGGRAPH Asia 2014 Posters Article No.30 (2014)
- 11) N. Snavely, S.M. Seitz and R. Szeliski: "Photo Tourism: Exploring Photo Collections in 3D", ACM Transactions on Graphics, 25, 3, pp.835-846 (2006)
- 12) D.G.Lowe: "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints", International Journal of Computer Vision, 60, 2, pp.91-110 (2004)
- 13) C. Wu, S. Agarwal, B. Curless and S.M. Seitz: "Multicore Bundle Adjustment", CVPR 2011, pp.3057-3064 (2011)
- 14) Z. Cao, T. Simon, S.E. Wei and Y. Sheikh: "Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields", CVPR 2017, pp.7291-7299 (2017)
- 15) https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose/blob/master/doc/3d_reconstruction_demo.md
- 16) C. Wu: "VisualSFM: A Visual Structure from Motion System", http://ccwu.me/vsfm
- 17) S.J.Blakemore, D.M. Wolpert and C.D. Frith: "Central cancellation of self-produced tickle sensation", Nature Neuroscience 1, pp.635-640 (1998)



水井 隆昌 2017年, 筑波大学理工学群工学システム学類卒業. 2018年, 同大学院システム情報工学研究科知能機能システム専攻在籍中. 多視点映像の研究に従事.



完戸 英彦 2016年, 筑波大学大学院システム情報 工学研究科修了. 同年, (独) 国立スポーツ科学センター 研究員を経て, 2017年, 筑波大学計算科学研究センター 助教, 英国サリー大学客員研究員. コンピュータビジョ ン, 多視点画像解析の研究に従事. 博士(工学).



電田 能成 1996年,京都大学大学院博士後期課程研究指導認定退学.京都大学助手,筑波大学講師を経て,2016年より,筑波大学計算科学研究センター教授. VR,AR,複合現実感技術,知的映像処理等の研究に従事.博士(工学).

