

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500232

研究課題名(和文) 球技の実時間3次元計測によるトレーニングとゲーム分析に関する研究開発

研究課題名(英文) Research and Development of Realtime 3D Reconstruction of Field Ball Games for Training and Game Analysis

研究代表者

徐剛(XU, Gang)

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号：90226374

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,400,000円、(間接経費) 1,320,000円

研究成果の概要(和文)：(1)130万画素のカメラを16台購入し、地元企業に依頼して同期機構を構築した。16台のノートPCからデータをサーバーPCに集約するソフトウェアをMPIで実現した。(2)カメラの内部パラメータを事前に校正し、外部パラメータは球場に座標既知の点を設定するよう校正した結果、高精度な3次元復元が可能となった。(3)背景画像を作成して各瞬間の入力画像と背景画像との差分をとることで、選手や審判のみの領域を背景から分離した。(4)各カメラの人物領域をサーバーPCに送り、視空間交差法により人物が占めるボクセルを抽出して、鳥瞰図に投影し個人に分割できた。また、秒30コマで連続の動きを捉えることもできた。

研究成果の概要(英文)：(1)16 Cameras of 1.3 mega pixels were connected by the Gigabit Ethernet and a special electronic system was built to synchronize the 16 cameras. Data from the 16 note PC, each connected to one camera, were sent to the central server PC by MPI. (2)The intrinsic parameters of each camera were calibrated in advance and the extrinsic camera parameters were calibrated by locating in the images the markers whose coordinates in the field are known. As a result, 3D reconstruction of high accuracy is made possible. (3)The next step is to separate the pixels of players and referees from those pixels of the static background. (4)The pixels of players and referees are sent to the server PC and the voxels occupied by players and referees are extracted by space carving. These voxels are then projected onto the bird view image, where the players and referees are separated from each other. All is done at 30 frames per second.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理/知能ロボティクス

キーワード：球技の3次元運動解析 同期多カメラによる実時間3次元計測 並列分散処理 背景差分法 視体積交差法 選手の背番号認識 球体の追跡 カメラゲインの自動制御

### 1. 研究開始当初の背景

本研究の着想は、立命館大学のアメフトチームのコーチから持ちかけられたことがきっかけであった。立命館大学アメフトチームは学生の日本一だけでなく、社会人日本一にも勝利した経験がある強豪である。トレーニングの中で個々の選手の動きを個別に数値化することができれば、より効果的にトレーニングすることが可能となるが、そのようなシステムは世の中になく、長年3次元画像計測の研究を行ってきた本研究申請代表者に研究開発を依頼してきた。

スポーツを、自由視点の実時間画像合成を通じて、より面白く見せる研究は、米国カーネギーメロン大学の金出先生のものが有名である。また、パノラマを用いることで、より広視野の映像表示を実現したシステムもある。しかし、トレーニングの際に選手の動きをグラウンドの隅々まで、また、試合の全過程にわたって、3次元計測・追跡するシステムは報告されていなかった。

### 2. 研究の目的

本研究は、バスケット・サッカー・アメフトなどの球技を、同期多カメラシステムで全試合に渡って3次元計測することにより、球場における各選手の動きを数値化し、また、鳥瞰映像を合成して、トレーニングや戦略策定に資することを目的とする。

このようなシステムを実現すれば、どの選手がいつどこにいたか、どれくらいのスピードで移動したか、出場時間の長さ、移動した距離などが自動的に集計され、出力できる。また、グラウンドの真上から見た鳥瞰画像を合成し、選手の背番号の動きを表示することにより、どの選手がどの瞬間にどう動いたかも分かりやすく表示することもでき、その早送りや巻き戻しも可能である。これらの情報や表示は、監督とコーチが自陣の選手の動きを分析することに大変有用で、敵陣の長所と隙を見つける観点からも有用である。また、選手自身もこれらの情報と表示を見ることにより、トレーニングの改善点を見つけ出すことが容易になる。

### 3. 研究の方法

本研究の技術的課題は、次の5つである。

- (1) 広いグラウンドの隅々に設置されるカメラの同期撮影ハードウェアシステム
- (2) 多数のカメラの3次元位置姿勢をキャリブレーションする技術
- (3) 照明の変化や、接近する選手の重なりにも影響されないトラッキング技術
- (4) 並列処理の採用により3次元計測の実時間処理を実現する高速化技術
- (5) 選手ごとの試合における追跡

上記の諸課題に対して、1つずつ解決方法を述べる。

- (1) カメラを16台購入し、同期撮影機構を構築する。カメラはそれぞれ1台のノートPC

と接続し、2次元の画像処理はそれぞれのカメラについているノートPCで処理し、処理した結果のみサーバーPCにGigEのLANケーブルを通して送り、サーバーPCで3次元の処理を行う。

(2) カメラは固定焦点のレンズを使用し、事前にレンズの歪みをソフトウェアで補正しておく。球場は平面である。球場には必ず線が引かれている。球場の平面座標系において、これらの線上にある特徴点の2次元座標を必要数正確に測量することで、カメラの画像平面と球場平面との間の射影変換行列を求めることができる。一方、球場平面に対して空に向かう重力の反対方向にZ軸を加えることで3次元空間を表現できる。前述の射影変換行列から、球場の3次元座標系におけるカメラの3次元位置と姿勢を正確に求めることができる。これを全てのカメラに対して別々に求めることにより、全てのカメラの位置姿勢を球場の3次元座標系において求める。

(3) それぞれのカメラに対して、選手や審判がいない背景画像を作成し、かつ、照明の緩やかな変化に対応できるように、背景画像を更新していく。そして、各瞬間の入力画像と背景画像との差分をとることで、選手や審判の画素のみを背景から分離し、画像から抽出できる。

(4) 球場の地面から高さ2.5mまでの空間を50mm×50mm×50mmのボクセルに分割し、それぞれのボクセルが、事前に見えると分かっているカメラに射影し、背景に属するか人物に属するかを判断する。もし、そのボクセルが同時に複数のカメラ画像において人物に属するならば、人物がそこに存在すると判断する。この処理は、ボクセル間の相互依存は一切なく、完全に並列である。100m×100mの球場だとした場合、ボクセルの数は2000×2000×50=0.2Gとなる。並列処理により、人物が占めるボクセルを実時間で抽出する。

(5) 人物が占めるボクセルを鳥瞰図に投影する。そして、2次元の鳥瞰図で個々の選手に分割し、IDを付与し、時間軸に沿って連続の動きを捉える。

### 4. 研究成果

(1) ドイツBasler社から130万画素のGigEカメラを16台購入し、地元企業に依頼して同期撮影機構を構築した。16台のノートPCからデータをサーバーPCに集約するソフトウェアをMPIで実現した。

(2) カメラの内部パラメータをOpenCVで校正し、外部パラメータは球場に座標既知の点を設定することにより校正した。それらによって高精度な3次元復元が可能となった。

(3) 背景画像を作成することにより、各瞬間の入力画像と背景画像との差分をとることで、選手や審判の画素のみを背景から分離し、画像から抽出することができた。これらは各カメラに接続したノートPCで処理した。

(4) 各カメラに接続したノートPCで抽出し

た人物領域をサーバーPCに送り、視空間交差法により、人物が占めるボクセルを抽出した。ここまでは秒30コマ処理することができた。人物が占めるボクセルは鳥瞰図に投影する。

(5) 2次元の鳥瞰図を個人に分割することができた。時間軸に沿って連続の動きを捉えることも可能となった。

残課題：

(1)カメラ設置の難しさ。カメラを適切な高さに設置する必要があり、サッカー場の大きさになると、三脚では足りず、より高いところに設置する場合は工事が必要となり、同研究室では難しい。そのため、体育館に限った実験を実施した。

(2)カメラの解像度が限られるため、選手の背番号を捉えることができる時もあるが、常に認識し続けることはできない。そのため、試合の最初から最後まで選手の追跡はまだ実現できていない。

(3)また、ボールを追跡することも必要だが、設定した空間の高さ上限を超えることがある。上限を引き上げると、必要なメモリと計算量が大きく増え、コンピュータの能力を超える。

今後、これらの課題を解決すべく研究を続けていく所存である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 6 件)

著者名：大原将史、徐剛、発表タイトル：露出オーバー・アンダのない動画撮影を行うためのゲイン・露光時間の自動調整、学会名：ビジョン技術の実利用ワークショップ(VIEW2013)、発表年月日：2013年12月5日、発表場所：パシフィコ横浜(神奈川県)

著者名：増田哲朗、山崎綾哉、桑幸生、村山智美、深井寛修、徐剛、國枝義敏、発表タイトル：フィールドスポーツにおける同期多カメラを用いた全選手の実時間位置測定システム、学会名：動画処理後実利用化ワークショップ 2013(DIA2013)、発表年月日：2013年3月8日、発表場所：静岡大学浜松キャンパス(静岡県)

著者名：Ryoya Yamazaki, Tetsuro Masuda, Hironobu Fukai, Gang Xu and Yoshitoshi Kunieda、発表タイトル：Real-Time Multi-Player Tracking and Identification Using Synchronized Multiple Cameras in Field Sports、学会名：The 8th Joint Workshop on Machine Perception and Robotics (MPR2012)、発表場所：Kyusyu Univ. (Fukuoka Pre.)、発表年月日：Oct. 2012.16

著者名：山崎綾哉、増田哲朗、深井寛修、徐剛、発表タイトル：フィールドスポーツにおける同期多カメラを用いた複数選手のチーム識別と背番号認識による実時間個人識別、学会名：精密工学会・画像応用技術専門委員会サマーセミナー2012、発表年月日：2012年9月4日、発表場所：犬山館(愛知県)

著者名：Tetsuro Masuda, Hironobu Fukai, Gang Xu and Yoshitoshi Kunieda、発表タイトル：Real-Time Multi-Object Tracking Using Synchronized Multiple Cameras in Field Sports、学会名：The 7th Joint Workshop on Machine Perception and Robotics (MPR2011)、発表年月日：Oct. 2011.13、発表場所：Beijing (China)

著者名：増田哲朗、高井翔太、後藤敦士、深井寛修、徐剛、発表タイトル：フィールドスポーツにおける同期多カメラを用いた複数移動物体の実時間追跡、学会名：The 17th Symposium on Sensing via Image Information (SSII2011)、発表年月日：2011年6月9日、発表場所：パシフィコ横浜(神奈川県)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

徐剛 ( Xu Gang )  
立命館大学・情報理工学部・教授  
研究者番号：90226374

(2)研究分担者

伊坂 忠夫 ( Isaka Tadao )

立命館大学・スポーツ健康科学部・教授  
研究者番号： 30247811

吉岡 伸輔 ( Yoshioka Shinsuke )  
東京大学・総合文化研究科・准教授  
研究者番号： 20512312

深井 寛修 ( Fukai Hironobu )  
東京理科大学・理工学部・助教  
研究者番号： 50571585  
( 削除：平成 25 年 7 月 24 日 )

(3)連携研究者

國枝 義敏 ( Kunieda Yoshitoshi )  
立命館大学・情報システム学科・教授  
研究者番号： 90153311