

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月26日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K13006

研究課題名（和文）カメラからの映像情報を入力とした完全自動3次元スポーツ解析技術

研究課題名（英文）Full automatic 3D sport analysis based on video sensing

研究代表者

池永 剛（Ikenaga, Takeshi）

早稲田大学・理工学術院（情報生産システム研究科・センター）・教授

研究者番号：90367178

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、解析データに基づく高度なゲーム戦略の実現や、新たな情報を付加したTVスポーツ中継システムなどを対象として、複数の高精細ビデオカメラから撮影した実試合の映像情報を入力とした完全自動3次元スポーツシーン解析技術の実現を目指した取り組みを行なった。この結果、バレーボールにおいて、ボールや選手の3次元位置などを99%以上の精度で、実時間で処理できる事を確認した。さらに、レシーブ、トス、スパイクなど、どのようなプレーがなされたかのイベント情報や、アタックの型や時間、有効なアタッカーやブロッカーの数、セッターの位置など、アタックの効果を示す戦略情報に対しても自動取得可能な事を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実試合に適用可能な高精度な完全自動3次元スポーツ解析技術により、あらゆるバレーボール試合の多様な解析データが人手を介さず簡易に取得可能となる。これにより、バレーボール戦略の構築に、従来にない全く新しい手段を提供できることになり、スポーツ科学の世界に新たな可能性とインパクトを与えるものと思われる。さらに、実際に、ナショナルチーム等と協力しながら、オリンピック等の国際試合のメダル等の結果につなげていくことにより、社会的にも大きなインパクトを示せる。さらに本提案で検討・実現した各種3次元情報取得の基盤技術は、将来的に卓球、テニスなど幅広いスポーツに展開でき、将来のスポーツ産業への貢献も期待できる。

研究成果の概要（英文）： The purpose of this research is to implement a full-automatic 3D sports analysis system from multiple high-definition video cameras for advanced game strategies based on analysis data and TV sports broadcasting. By creating various technologies based on abrupt motion feature and spatial importance in Volleyball analysis, 3D position and velocity of a ball and twelve players are obtained in video rate (60fps) with an accuracy of 99% or more. In addition, we confirm that the event data on what play (e.g. receive, toss, spikes) has been made and the strategy data to decide the play efficacy (e.g. the number of available attackers and blockers, the attack tempo, the attack type, the set zone) are obtained automatically with 92%-100% accuracy.

研究分野：映像システム

キーワード：スポーツ解析 映像認識 実時間画像処理 物体追跡 パーティクルフィルター

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

研究開始当時、2020年の東京オリンピックの日本開催などを契機として、スポーツへの関心が極めて高まっていた。世界のトップスポーツでは、選手の肉体面の強化だけでなく、データに裏打ちされた高度なゲーム戦略をベースとした戦いが行われているが、特に体格面で世界の選手に劣る日本では、そのような戦略構築が、強く望まれていた。特に、バレーボールでは、専任のアナリストが、カメラからの映像を解析し、Data Volley を用いながら新たな戦略を生み出すということが一般的に行われていた。しかしながら、映像からの情報取得は、人手で行われており、膨大な労力を割きながらも、限られた情報取得しかできていないのが現状で、最先端の映像センシング技術を用いたスポーツ解析システムの実現が強く望まれていた。

### 2. 研究の目的

本研究では、複数の高精細ビデオカメラから撮影した実試合の映像情報を入力とした完全自動3次元スポーツシーン解析技術の実現を目的に取り組んだ。具体的には、正確性(高いボール・選手追跡精度、動作・試合状況認識精度)、多様性(多様な球技に適用可)、実用性(柔軟なカメラ位置から撮影可)、多機能性(位置や、試合状況などの情報を取得可)を可能とする解析技術の実現を目指した。対象スポーツとしては、バレーボールをメインターゲットとし、テニスや卓球への水平展開を模索した。さらには、GPUを用いた実時間処理も検討した。

### 3. 研究の方法

予備評価により、スポーツ解析に必須となる高精度な3次元情報を取得するためには、複数カメラからの映像が不可欠である事を確認した。また、様々なカメラパラメータ(画素数、シャッタースピードなど)を評価し、コーナに設置した4方向から撮影することにより、比較的好条件な撮影が行える事を確認した。これに基づき、東京体育館で行われた高校総体の複数試合を撮影し、評価データとした。また、研究課題に関しては、ボールや選手の3次元位置などの物理的な情報取得から着手し、その結果を用いながら、どのようなプレーが起きているのかのイベント情報、さらには戦略解析に直接つながる戦略情報と段階的に高い情報取得を検討していった。さらに、並行して、GPUを用いた実時間処理や他のスポーツへの水平展開を検討していった。また、東京オリンピックやスポーツ解析の新たな産業創出への貢献を視野に入れ、関連企業との技術交流を積極的に行い、そこで得た知見を常にフィードバックしながら、研究の方向性を見極めていった。

### 4. 研究成果

#### (1) ボール&選手追跡技術

多視点映像を用いたボールの3次元位置や速度などの物理情報の自動取得を対象に、パーティクルフィルタのフレームワークに基づく、急峻な動きを考慮した適応型システムモデル、空間密度分布を用いたリカバリ手法、遮蔽による影響を回避するための観測モデルを提案した。3次元ボール追跡の従来技術としては、Deguchi [MVA, 2002]らのボールの自由落下と跳ね返りを想定した手法が知られているが、スパイクやレシーブなど、選手による外部要因で頻繁に方向が変わるバレーボール追跡には向いていない。そこで、提案手法では、ボールが空中にある一般的な状況と、外部要因により急峻に動きを変える状況の2つの異なるシステムノイズを結合して扱うモデルを構築した。さらに、結合の度合いやパーティクルの数を、推定した動きの確率によって適応的に切り替えることにより、試合の様々な状況下において高精度に追跡可能とした。また、大きなトスが上がった際などに、ボールが撮影画面上からフレームアウトし、追跡が失敗するなどの状況に対応するため、ボールの存在確率に基づく空間分布を用いることにより追跡のリカバリーを可能としている。さらに、観測モデルとして、多視点の映像のうち、遮蔽が生じているカメラの尤度値を用いないことにより、全体の尤度値が下がることを回避している。本提案をソフトウェア実装し、2014年に東京体育館で開催された男子高校インターハイ決勝戦(各コーナに設置した4台のカメラを用い、フルHDTV: 1920x1080、60fpsで撮影)の全試合のデータを用いて評価した結果、追跡成功率は99.4%、平均追跡位置誤差は5.3cmと実用レベルの高い精度が得られることを確認した。これは、従来手法[MVA, 2002]と比較して、45.7%の追跡成功率向上となっている。さらに、本アルゴリズムの実時間処理を検討した。視線方向を優先したスレッド割り当てや、バイナリ探索に基づく並列化手法などを提案し、GPUを用い、99%の精度を保ったまま、バレーボールのボール追跡を3.4msで実行できる見通しを得た。ボール追跡で得られた知見を最大限生かす形で、12人の選手追跡を60fpsで実行可能な技術の実現を行なった。選手の体領域に制約を加えた予測モデルや色に重みを与えた画素選択手法などを考案し、97%の追跡精度を保ったまま16.01msで12名の選手を追跡できることを確認した。

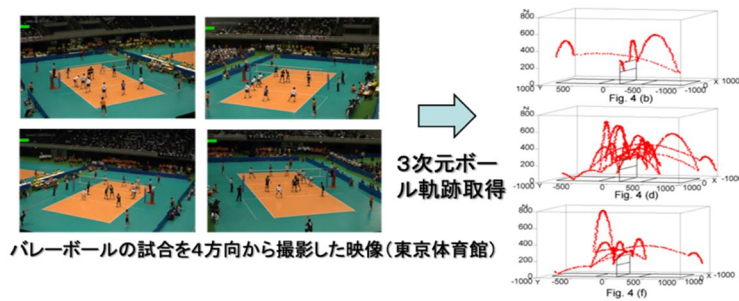


図 1. 3次元ボール追跡の例

## (2) イベント情報の取得技術

ボール軌跡と映像を用いたイベント情報の自動取得を対象に、パーティクルフィルタのフレームワークに基づく、軌跡の急峻さの度合いと肌色領域の面積を組み合わせた観測モデル、空間的にどこでイベント変化が起こりやすいかの確率分布を用いた予測モデルを提案した。スポーツを対象としたイベント検出の従来技術としては、Almaljai [ICIP, 2010]らの手法が知られているが、ボールの軌跡全体を用いてイベント検出しているため、軌跡に含まれるノイズの影響を受けやすいという問題がある。そこで、提案手法では、ボールの速度の時間的な変化で得られる軌跡の急峻さの度合いと、選手の肌色領域の面積を組み合わせた観測モデルを用いている。イベントの変化は、ボールが選手の手に近づいた時に起きるので、選手の肌色領域の面積値を尤度に加える事により、ボール軌跡に含まれるノイズの影響を低減可能にしている。また、スパイクやブロックなどボールがヒットされる頻度が高い空間的な場所にボールが来た場合に、イベント変化の確率分布を上げる事により、イベントが変化する瞬間を正確に予測可能にしている。本提案を、男子高校インターハイ決勝戦の全試合のデータを用いて評価した結果、イベント変化の検出成功率は 92.4%の精度が得られることを確認した。

## (3) 戦略情報の取得技術

映像を用いたアタックの効率を示す戦略情報の自動取得を対象として、動きの急峻さやボール、選手、コート空間的位置関係に基づく選手の役割検出手法を提案した。バレーボールの戦略解析としては、データバレーというシステムが幅広く用いられているが、その入力、目視による人手で行なっており、正確性に欠けると共に多くの労力を要している。このため、自動で正確に情報取得可能な技術が求められているが、そのためには、映像から得られるイベント情報やボールや選手の位置などの物理情報のみから、個々の選手の誰がアタッカーでブロッカーかといった意味情報を取得する必要がある。そこで、提案手法では、ボールの動きと選手の動きから得られる相関的な動きの急峻さを用いている。この特徴は、それぞれの選手がプレーにどれくらい深く関わっているかを示しており、より正確な選手の役割検出を可能にしている。さらに、各イベントの変化時点におけるボールと選手間の距離により、バレーコート Setter、アタック、ブロックゾーンに動的に分け、選手がどのゾーンにいるかを加味する事により、役割検出の精度を高めている。検出された個々の選手の役割をベースに、物理情報とイベント情報とを組み合わせる事により、アタックの効果を示す様々な戦略情報を算出できる。本提案を、男子高校インターハイ決勝戦の全試合のデータを用いて評価した結果、Setterの位置、有効なアタッカーの数、アタックの時間とブロッカーの数の検出率は、それぞれ 100%、100%、97.8% と 100%の高精度が得られることを確認した。これは、目視で得られる検出率と比較して、平均 8.3%の向上となっている。

## (4) その他の成果

その他の成果として、3次元の選手のパーツ（腕や足など）の追跡、選手の動作検出などにも取り組んだ。さらに、上記で培った技術をテニスや卓球といったスポーツに展開し、その応用可能性を確認した。図 2 にこの 3 年間に取り組んだ研究マップと代表成果を示す。

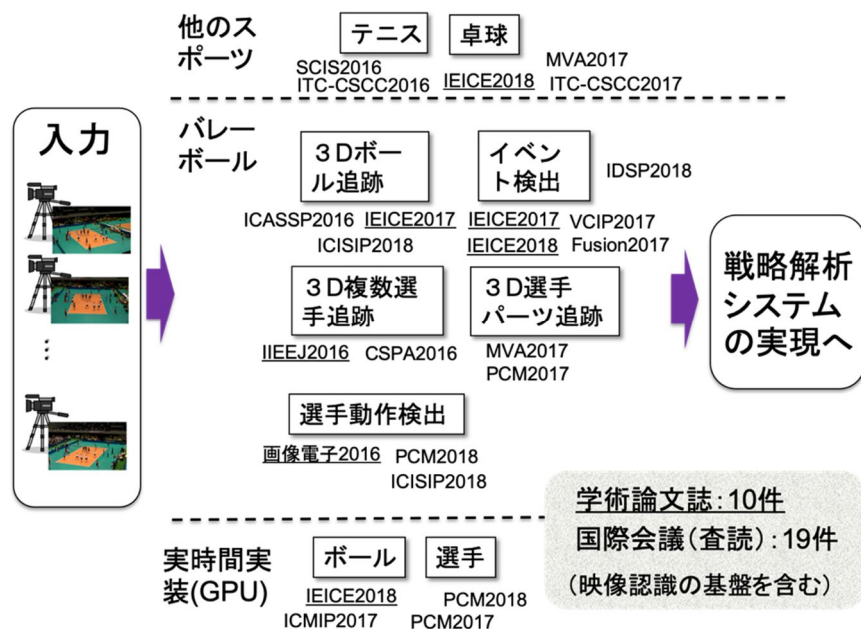


図 2 . 本研究で取り組んだ研究マップと代表成果

## 5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 10 件)

Yilin Hou, Ziwei Deng, Xina Cheng, Takeshi Ikenaga, "View Priority Based Threads Allocation and Binary Search Oriented Reweight for GPU Accelerated Real-time 3D Ball Tracking", IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol. E101-D, No. 12, pp. 3190-3198, Dec. 2018. (査読有り)

Xina Cheng, Takeshi Ikenaga, "Court-Divisional Team Motion and Player Performance Curve based Automatic Game Strategy Data Acquisition for Volleyball Analysis", IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E101-A, No.11, pp. 1756-1765, Nov. 2018. (査読有り)

Songlin Du, Takeshi Ikenaga, "Hierarchical Progressive Trust Model for Mismatch Removal under both Rigid and Non-Rigid Transformations", IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E101-A, No.11, pp. 1786-1794, Nov. 2018. (査読有り)

Tingting Hu and Takeshi Ikenaga, "Pixel Selection and Intensity Directed Symmetry for High Frame Rate and Ultra-Low Delay Matching System", IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol.E101-D, No.5, pp. 1260-1268, May. 2018. (査読有り)

Ziwei Deng, Yilin Hou, Xina Cheng and Takeshi Ikenaga, "Multi-peak Estimation for Real-time 3D Ping-Pong Ball Tracking with Double-queue Based GPU Acceleration", IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol.E101-D, No.5, pp. 1251-1259, May. 2018. (査読有り)

Xina Cheng, Norikazu Ikoma, Masaaki Honda, Takeshi Ikenaga, "Ball State Based Parallel Ball Tracking and Event Detection for Volleyball Game Analysis", IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E100-A, No. 11, pp. 2285-2294, Nov. 2017. (査読有り)

Xina Cheng, Norikazu Ikoma, Masaaki Honda, Takeshi Ikenaga, "Multi-View 3D Ball Tracking with Abrupt Motion Adaptive System Model, Anti-Occlusion Observation and Spatial Density Based Recovery in Sports Analysis", IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E100-A, No. 5, pp. 1215-1225, May 2017. (査読有り)

Shuyi Huang, Xizhou Zhuang, Xina Cheng, Norikazu Ikoma, Masaaki Honda and Takeshi Ikenaga, "Player Feature Based Multi-Likelihood and Spatial Relationship Based Multi-View Elimination with Least Square Fitting Prediction for Volleyball Players Tracking in 3D Space", IIEEJ Trans. on Image Electronics and Visual

Computing, Vol. 4, No. 2, pp. 145-155, Dec. 2016. (査読有り)

菅田雅彰、池永 剛、"センシング技術を用いたスポーツ情報解析", 情報処理, Vol. 57, No.8, pp. 738-743, Aug.2016. (査読無し)

久保田栄次郎、鈴木貴大、菅田雅彰、池永 剛、"身体の動作軌跡のクラスタ化に基づく特徴量を用いたバレーボールの動作検出", 画像電子学会誌, Vol. 45, No. 3, pp. 373-381, July 2016. (査読有り)

[学会発表](計 19 件)

Xina Cheng, Takeshi Ikenaga, "Model Selection Based Parallel Prediction and Image-Trajectory-Independent Estimation for Real-Time Ball Data Acquisition in Volleyball", IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems 2018 (ISPACS2018), Nov. 2018. (査読有り)

Songlin Du, Takeshi Ikenaga, "Mutual-Information-Graph Regularized Sparse Transform for Unsupervised Feature Learning", IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems 2018 (ISPACS2018), Nov. 2018. (査読有り)

Yiming Zhao, Xina Cheng, Takeshi Ikenaga, "Spatial Pixels Selection and Inter-frame Combined Likelihood Based Observation for 60fps 3D Tracking of Twelve Volleyball Players on GPU", Pacific-Rim Conference on Multimedia (PCM2018), Sep. 2018. (査読有り)

Yang Liu, Shuyi Huang, Xina Cheng, Takeshi Ikenaga, "3D Global Trajectory and Multi-view Local Motion Combined Player Action Recognition in Volleyball Analysis", Pacific-Rim Conference on Multimedia (PCM2018), Sep. 2018. (査読有り)

Yang Liu, Xina Cheng, Takeshi Ikenaga, "Ball Motion State and Abrupt Pose Features based Player Qualitative Action Recognition for Volleyball Game Analysis", The 6th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing (ICISIP2018), Sep. 2018. (査読有り)

Yuchen Yang, Songlin Du, Takeshi Ikenaga, "Search-Free Gridding and Temporal Local Matching Based Observation for High Frame Rate and Ultra-Low Delay SLAM System", The 6th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing (ICISIP2018), Sep. 2018. (査読有り)

Guixing Liang, Xina Cheng, Takeshi Ikenaga, "3D Ball Motion and Relative Position Feature Based Real-time Start Scene Detection for Volleyball Game Analysis on GPU", The 6th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing (ICISIP2018), Sep. 2018. (査読有り)

Yuhao Xu, Tinting Hu, Songlin Du, Takeshi Ikenaga, "Partial Descriptor Update and Isolated Point Avoidance Based Template Update for High Frame Rate and Ultra-Low Delay Deformation Matching", 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2018), Aug. 2018. (査読有り)

Xina Cheng, Takeshi Ikenaga, "3D Space Motion Dense Based Team Tactical Status Detection in Volleyball Game Analysis", The 2nd International Conference on Digital Signal Processing (ICDSP 2018), Feb. 2018. (査読有り)

Xina Cheng, Norikazu Ikoma, Masaaki Honda and Takeshi Ikenaga, "Simultaneous Physical and Conceptual Ball State Estimation in Volleyball Game Analysis", Visual Communications and Image Processing (VCIP2017), Dec. 2017. (査読有り)

Ziwei Deng, Yilin Hou, Xina Cheng, Takeshi Ikenaga, "Vectorized Data Combination and Binary Search Oriented Reweight for CPU-GPU Based Real-time 3D Ball Tracking", Pacific-Rim Conference on Multimedia (PCM2017), Sep. 2017. (査読有り)

Fanglu Xie, Xina Cheng, Takeshi Ikenaga, "Motion State Detection based Prediction

Model for Body Parts Tracking of Volleyball Players”, Pacific-Rim Conference on Multimedia (PCM2017), Sep. 2017. (査読有り)

Xina Cheng, Norikazu Ikoma, Masaaki Honda and Takeshi Ikenaga, “Event State Based Particle Filter for Ball Event Detection in Volleyball Game Analysis”, 20th International Conference on Information Fusion (Fusion 2017), July 2017. (査読有り)

Guannan Wu, Xina Cheng, Takeshi Ikenaga, “Racket Color Judgment Based Template Selection and Ellipse Shape Likelihood for 3D Racket Tracking in Ping-Pong”, The 32nd International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC2017), July 2017. (査読有り)

Fanglu Xie, Xina Cheng, Takeshi Ikenaga, “Mixture Particle Filter with Block Jump Biomechanics Constraint for Volleyball Players Lower Body Parts Tracking”, IAPR International Conference on Machine Vision Applications (MVA2017), May 2017. (査読有り)

Ziwei Deng, Xina Cheng, Takeshi Ikenaga, “Ball-like Observation Model and Multi-peak Distribution Estimation Based Particle Filter for 3D Ping-pong Ball Tracking”, IAPR International Conference on Machine Vision Applications (MVA2017), May 2017. (査読有り)

Yilin Hou, Xina Cheng, Takeshi Ikenaga, “Real-time 3D Ball Tracking with CPU-GPU Acceleration Using Particle Filter with Multi-command queues and Stepped Parallelism Iteration”, Second International Conference on Multimedia and Image Processing (ICMIP 2017), Mar. 2017. (査読有り)

Yuan Wang, Xina Cheng, Norikazu Ikoma, Masaaki Honda, and Takeshi Ikenaga, “Motion Prejudgment Dependent Mixture System Noise in System Model for Tennis Ball 3D Position Tracking by Particle Filter”, Joint 8th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 17th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS2016), Aug. 2016. (査読有り)

Zihan Ma, Shuyi Huang, Masaaki Honda, Takeshi Ikenaga, “Relative Position Feature based Dense Trajectories with Density Adapted Noise Reduction for Tennis Player Action Recognition”, The 31st International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC2016), July 2016. (査読有り)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願・取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.f.waseda.jp/ikenaga/>

## 6. 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名： 程 曦娜

ローマ字氏名： CHENG, Xina

研究協力者氏名： 誉田 雅彰

ローマ字氏名： HONDA, Masaaki

研究協力者氏名： 生駒 哲一

ローマ字氏名： IKOMA, Norikazu