

画像センシング技術を活用したスポーツICTの取り組み

Sports Video Analysis Solution

田 靡 雅 基
Masamoto Tanabiki

古 山 純 子
Junko Furuyama

富 田 裕 人
Hiroto Tomita

濱 田 匡 夫
Masao Hamada

吉 原 フ ウ
Phu Yoshihara

要 旨

東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会開催に向けて、スポーツに活用するICT技術の研究開発が盛んに行われている。これに対し、筆者らは「見えないものを自動かつリアルタイムで可視化」することを目指し、肉眼で見えない選手の心拍数や、ボールが四方八方に速度を変えて移動する競技中にボールの高さや速度を数値化する画像センシング技術を開発した。また、これらの技術を用いて、選手のパフォーマンスに影響する心拍数をカメラ映像から推定する非接触バイタルセンシング技術をアーチェリーに適用したソリューションと、4台のカメラを使ってボールの3次元位置を推定する追跡技術を核に、どの選手が何のプレイをしたかをデータ化するバレーボール解析ソリューションを開発し、実践導入した。

Abstract

Recently sports-related ICT is receiving attention for the 2020 Olympics and Paralympic Games Tokyo 2020. To contribute to sports, we aim to achieve automatic and real-time visualization of the unseen. Concretely, we developed new image sensing technologies and two solutions which have been utilized in real matches. One is a contactless vital sensing solution which estimates player's heart rate from videos in an archery match. Another is a volleyball analysis solution which generates stats by three-dimensional tracking technology using 4 cameras.

1. はじめに

近年、実際の試合映像から選手やボールの位置情報を取得し、選手個人の運動量や、選手同士のポジショニングを可視化するスポーツ映像解析が注目されている。さらに、リアルタイムで位置情報を取得し、かつてない演出によって競技の躍動感・臨場感をスポーツファンや視聴者に届けるライブ中継・配信の需要も高まっている。

これらスポーツICTの需要に対して当社では「見えないものを自動かつリアルタイムで可視化」し、アスリートの能力・競技の魅力を最大限に引き出す新しいスポーツエンターテインメントの創造を目指している。

本稿では「見えないものを自動かつリアルタイムで可視化」に有効な2つの画像センシング技術を紹介する。1つ目は、遠方から撮影した映像のみを用いて、パフォーマンスに影響する心拍数を推定する非接触バイタルセンシング技術、2つ目は、“サーブやスパイクの選手別傾向”を可視化するバレーボール解析技術である。これは、ボールが四方八方に速度を変えて移動し、選手が激しくポジションを変えてさまざまな姿勢をとる条件下でボールに触れた選手を時々刻々と把握する画像解析技術によって実現した。

次に本稿の構成を示す。これら画像センシング技術を核に驚きのスポーツコンテンツを制作するスポーツ映像演出ソリューションの実例として2章でアーチェリーの

取り組みを述べる。さらに、3章で競技力強化に有効なゲームスタッツソリューションをバレーボールに適用した事例を紹介する。最後の4章で本取り組みをまとめる。

2. 非接触バイタルセンシング

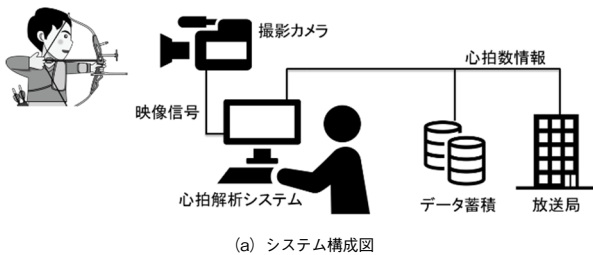
運動と心拍数には2つの関係性がある。心理的側面と生理的側面である。競技にてベストパフォーマンスを発揮するには、心理的・生理的準備状況（コンディション）が適切であることが望ましく、心拍数はコンディションを知る手がかりの1つとなると考えられる[1]。

運動中の心拍数の測定手段としてリストバンド型や胸ベルト型の測定機器が広く利用されているが、電子機器を身につけることが禁止されている競技の公式試合では利用できない。一方、筆者らが提案する非接触バイタルセンシング方式では、顔映像から心拍数を推定するため測定機器を装着することなく心拍数を把握できる。本章では、非接触バイタルセンシングの技術概要およびシステム構成について説明する。

2.1 システム概要

本システムは、解析映像を撮影するカメラ（以降、撮影カメラ）および心拍解析を行うPC（以降、心拍解析システム）で構成される（第1図 (a)）。撮影カメラは、顔領域を高解像度で撮影するとともに、顔の動きに対する

追従性を上げるため1920×1080 pixelを60 fps (frames/s)で撮影しており、毎フレーム映像を心拍解析システムに入力する。心拍解析システムでは心拍推定処理を、1/60 sつまり16 ms以内に終える。毎フレーム処理後、推定した心拍数を出力する。出力された心拍数の情報は、データベースへの蓄積、もしくはリアルタイムでの放送局への送信に利用される。



第1図 システム構成図と遮蔽の発生状況
Fig. 1 System configuration and occlusion situation

2.2 技術概要

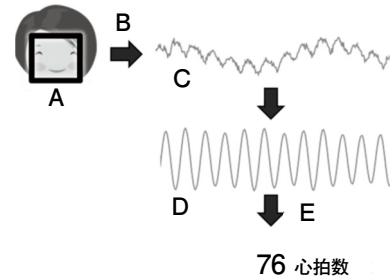
非接触バイタルセンシング技術は、カメラで撮影した顔映像から脈波を推定する技術である。光電容積脈波計の原理[2]を用いて、血液（ヘモグロビン）の光の吸収特性から脈波を抽出し、心拍数を推定する。脈波とは心臓の収縮による末梢（まっしょう）方向の血管の容積変化をとらえたものである。容積変化に応じて光の吸収量が変化するため、反射光をとらえたカメラ映像を時系列に観測することで脈波を取得することができる。以下に、処理の流れを示す。

- (1)映像中の人物の顔の位置（顔枠）を決定し、決定した顔枠をオプティカルフローで追従（第2図（A））。
- (2)顔枠内の顔の肌色成分として有効な画素を選択し、肌色の平均値を計算（第2図（B））。この平均値の時間方向の変化が顔色の変化である（第2図（C））。
- (3)顔色の変化から、信号処理により脈波成分を抽出（第2図（D））。
- (4)脈波成分から、心拍数を算出（第2図（E））。

以上により、心拍数を出力する。

本方式の精度評価として、心電計の測定結果との相関を分析したところ、両者の相関は0.987 ($p < .01$)であり、

安静状態においては接触型の心電計とほぼ同等の計測性能が得られた[3]。



第2図 非接触バイタルセンシングの処理の流れ
Fig. 2 Process flow diagram of the contactless vital sensing

2.3 心拍解析システム

本節では、アーチェリー競技に向けた心拍解析システムの取り組みを説明する。

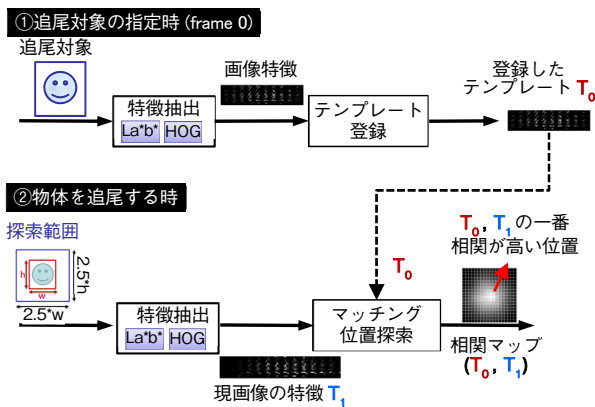
[1] システム課題

心拍解析システムは、主に選手が静止状態かつ顔の前の遮蔽物通過（オクルージョン）がない期間にて心拍数の推定を行う。アーチェリー競技の場合、弓を引く際に弓と弦、さらに選手の腕が顔の前を横切る（第1図（b））。この弦を引く動作により発生するオクルージョンで、顔枠の追従が本来の顔領域から外れてしまう。そのため、再度解析者が顔枠位置を指定する必要があり、静止期間が短くなかでの解析時間を圧迫する。

[2] オクルージョン対策

本心拍解析システムでは、動き追従のためにKLT (Kanade-Lucas-Tomasi) トラッキング技術を採用し、高精度な顔枠追従性能を実現している[4]。しかしKLTトラッキング単体では、アルゴリズム上オクルージョンに対して弱く、オクルージョンにより間違っただけで遮蔽物を追従する可能性がある。

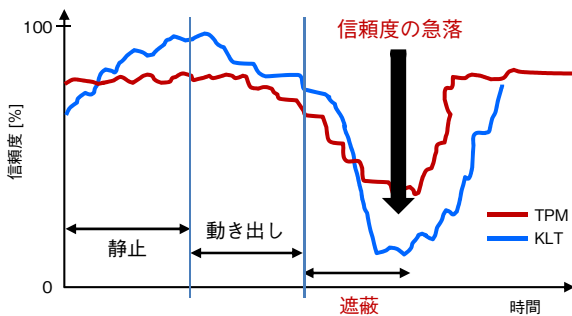
そこで、KLTトラッキングと異なるアプローチのTPM (テンプレートマッチング) トラッキング技術について説明する[5]。TPMトラッキングは、第3図が示すように最初に追従対象領域の物体をテンプレートとして登録し、登録したテンプレートとの相関を毎フレーム計算することで登録したテンプレートと一番類似度が高い領域を特定する。直接登録テンプレートとの相関を評価するため、急激な位置変動やオクルージョンが発生した場合においてもテンプレートとの類似度評価によって新フレームでの追従物体の位置を一定誤差範囲内で特定することができる。ただしTPMトラッキングの誤差範囲は大きく、TPMトラッキング単体の追従では追従する顔枠のブレ（振動）が発生する。



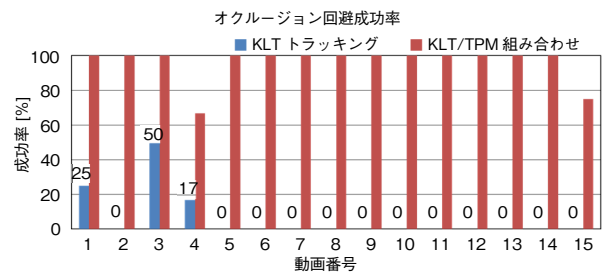
第3図 TPMのテンプレート登録とマッチングの流れ
Fig. 3 TPM template registration and template matching

そこで、今回開発したKLTトラッキングとTPMトラッキングを組み合わせた追従システムを開発した。KLTトラッキングとTPMトラッキングの各方式それぞれで独自の評価値（信頼度）を算出し、トラッキング結果合成の重みとして利用することで、お互いの強みを活かすことができる。第4図は物体の静止状態と動き出し、遮蔽時のKLTとTPMトラッキングの信頼度変化を示す。静止など遮蔽のないときにKLTの重みを大きくすることで、高精度なKLTトラッキングを行う。遮蔽が発生した場合、KLTトラッキングの信頼度が急峻（きゅうしゅん）に落ちるが、信頼度が高いTPMトラッキングにより遮蔽物ではなく、正しい追従位置を保持することが可能になる。

オクルージョンが発生するアーチェリー競技映像で、従来のKLTトラッキング単体と、今回開発したKLT/TPMトラッキング組み合わせによる追従でバイタル計測する結果を比較した。第5図が示すように、15本中15本オクルージョン回避成功率が改善している。



第4図 遮蔽と各トラッキングの信頼度変化
Fig. 4 Occlusion and tracking confidence level change



第5図 KLTトラッキングとKLT/TPM組み合わせの精度評価
Fig. 5 Accuracy evaluation of KLT and KLT/TPM combination

2.4 新たなコンテンツ創出の可能性

本システムにより、競技中の心拍数の推定が可能のため、客観的な選手のコンディション把握の一助となる可能性がある。また、テレビやネットなどの中継放送において、映像を見ただけではわからない選手の心拍数の変動を活用することで、新たな演出のコンテンツが提供可能になった。例えば、アーチェリーの試合では、対戦している選手同士の心拍数を可視化し、試合の進行とそれらの変化を見せて観戦者を盛り上げるコンテンツとする。先行事例として2018年12月に実施された第71回全日本フェンシング選手権大会の中継放送において、心拍数が演出コンテンツとして利用された。今後、スポーツ中継の新規コンテンツ創出に向けて、非接触バイタルセンシングが1つの有力な手段になると考える。

3. バレーボール解析

バレーボールでは、アナリストが膨大な情報を収集し、対戦相手の分析やチーム強化、選手育成などに役立っている。現状、アナリストは試合を目視で確認し、データをPCなどへ手動で入力することで情報を収集しているが、情報が映像から自動で取得できると、手動入力作業を省力して分析に専念することができる。本章は、画像解析技術によりバレーボールの試合において多岐にわたるデータを自動で収集し、チーム強化や戦略立案に有効なバレーボール向けの画像センシングソリューションについて説明する。

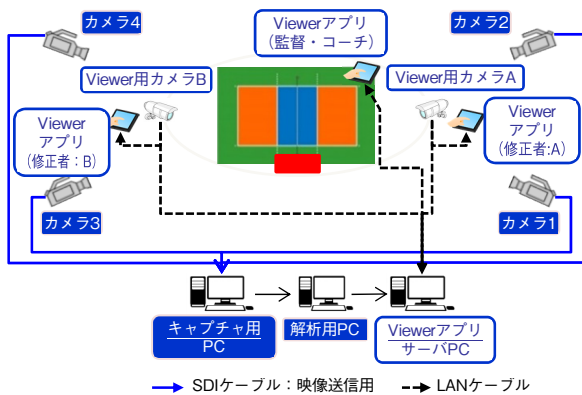
3.1 システム概要

バレーボール解析システムは、4台の解析カメラで撮影した映像を解析する画像解析システムと、2台のViewer用カメラで撮影した映像と解析結果を関連付けて表示するViewerアプリケーションシステムによって構成される。バレーボール解析システムの概要図を第6図に示す。

4台の解析カメラは、観客席内のコート中心から四隅に延ばした線の延長上付近に設置し、コートを斜め上方か

ら見下ろす条件で撮影する。2台のViewer用カメラはコート後方の両サイドの観客席に設置し、コート上の選手を真後ろから映す条件で撮影する。

解析カメラはカメラ1を同期信号発生器として同期信号をカメラ2~4へ送信し、カメラのシャッタタイミングを同期させ、1080p、60fpsで撮影を行う。解析カメラ映像は全てキャプチャ用PCに集約され、キャプチャ用PCを介して解析用PCに入力される。Viewer用カメラは解析カメラとは独立しており、720p、30fpsで撮影を行い、映像は有線ネットワークを介してViewerアプリサーバPCやViewerアプリを搭載したタブレットへ転送される。



第6図 画像解析システム概要図

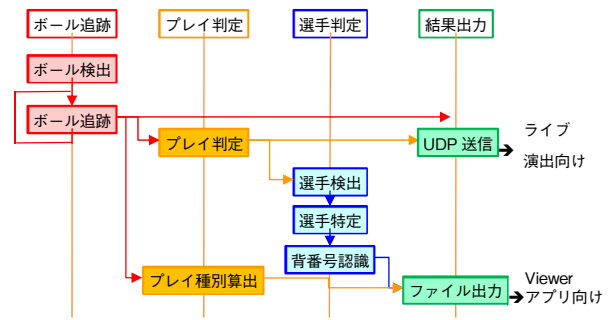
Fig. 6 Outline of the image analysis system

3.2 画像解析システム

画像解析システムは、4台の解析用カメラと1台のキャプチャ用PC、1台の解析用PCにより構成される。

本システムは、4台の解析カメラの映像をキャプチャ用PCでリアルタイムに取得し、ボールの検出・3D追跡技術や選手検出技術、背番号認識技術を組み合わせ、どの選手が何のプレイ（サーブ、トスなど）をしたかを解析用PCにて自動分析するシステムである。キャプチャ用PCは60fpsで画像取得するが、解析用PCで30fpsに間引いてその後の処理を行っている。画像解析システムの処理フローを、第7図に示す。

本システムでは、ライブでの映像演出などに必要不可欠な情報（ボールの3D位置とプレイ名称）をリアルタイム演出用の別システムにUDP（User Datagram Protocol）送信する機能と、どの選手がプレイをしたか、プレイ時のボールの速度のようなより詳細なデータをViewerアプリサーバPCに逐次、低遅延でファイル出力する機能の2種類の結果出力機能を持ち、必要な情報を必要なタイミングで出力可能な構成とした。



第7図 画像解析システムの処理フロー

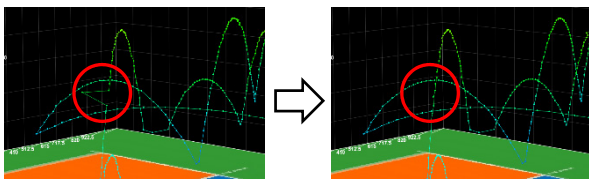
Fig. 7 Flow chart of the image analysis system

〔1〕ボール検出・ボール追跡

ボールの検出は、サーブ時に投げ上げられるボールを探索することで行う。具体的には、各カメラ画像において、動き情報と色の情報を元にボール候補を探索し、2カメラ以上で見つかったボール候補の2D位置情報から3D位置を算出する。ボール候補の3D位置が連続して上方へ移動している場合に、投げ上げられたボールだと判断し、ボール候補をボールとして検出する。

ボール検出後、検出位置を初期位置として、ボールの3D追跡を行う。3D追跡には、2016年に歩行者検出のベンチマークであるCaltech Pedestrian Detection Benchmark[6]で世界最高水準の評価[7]を獲得した当社独自の人物検出技術をボールに応用した手法を用いた。本手法は、前フレームのボール位置周辺領域を各カメラ画像から一定サイズで切り出してボール検出を行い、各カメラ画像での2D位置を統合してボールの3D位置を算出する。深層学習によりボールのさまざまな見え方を学習させており、ボールと同系色のユニフォームを着用した選手が画像内に存在しても誤追跡することがない。

しかし、実際の競技会場には試合球が複数個存在し、ラリーに使用されているボール以外の例えばボールボーイが保持している別の試合球が切り出し領域内に一緒に映っている場合がある。ボール検出では両ボールをともに検出してしまい、ボールボーイが保持しているボールの方に高い尤度（ゆうど）が出る場合もあり、誤検出・誤追跡の要因となる。そこで本手法では、ボールが1つだけ検出されたカメラから検出領域を切り出した画像を基準とし、2つ以上のボールを検出したカメラの検出領域のベクトル間距離で絞り込むことで、実空間（3D空間）で離れた位置に存在するボールの検出を除外した。また、前フレームでの3D位置より閾（しきい）値以上離れた候補は除外する後処理などにより誤追跡を抑制している。これらの誤追跡抑制処理による追跡軌跡の変化を第8図に示す。



第8図 誤追跡抑制結果

Fig. 8 Result of removing mistracked trajectory

〔2〕プレイ判定

プレイ判定とは、ボールの3D軌跡や速度の変化をとらえて、何らかのプレイ（サーブ、トスなど）があったことを判定し、プレイごとにボールの位置や速度を基準にプレイの種別（例えば、高速のサーブ、低速のサーブなど）を判定することである。また、選手判定により、そのプレイをどの選手が行ったかといった情報をまとめて、プレイ種別として出力する。

〔3〕選手判定

選手検出にも、ボール検出と同様に当社独自の人物検出技術を応用した。バレーボール選手は姿勢変動が大きいため、選手検出精度を向上させるための深層学習ではサーブやアタック時の大きく反り返った姿勢や、レシーブ時の体勢が崩れた姿勢、寝そべった姿勢など多量の姿勢を学習させた。

選手検出は、プレイがあったと判定されたタイミング（以下、プレイタイミング）、および前後数フレームずらしたタイミングの合計3つのタイミングにおいて、プレイタイミングでのボール位置周辺領域を対象領域とし、各タイミングでの対象領域に対して行う。アタック時などはボール付近に複数の選手が密集しているため、対象領域内に複数の選手が検出される。そこで、各カメラ画像での選手検出矩形（くけい）間でベクトル間距離を求め3D統合を行い、選手の3D位置を算出する。その際、プレイタイミングにおいてはボールに一番近い選手を、前後数フレームずらしたタイミングではプレイタイミングの選手位置と一番近い選手位置を、プレイを行った選手として特定する。

背番号認識には、羽田空港に導入された顔認証ゲートで実績[8]のある文字認識技術を応用し、選手特定で得られた選手領域に対して、背番号領域の検出および背番号領域内の文字認識を行った。

3.3 Viewer アプリケーションシステム

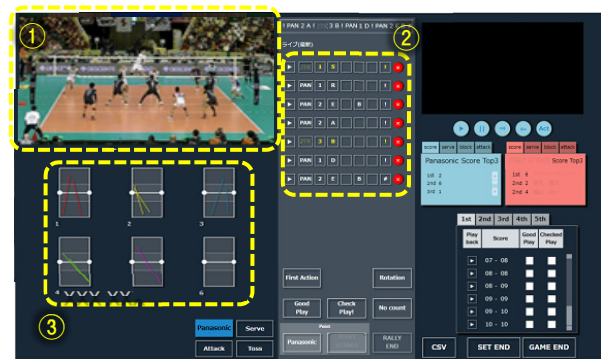
Viewerアプリケーションシステムは、2台のViewer用カメラと、1台のViewerアプリサーバPC、複数台のタブレットやノートPCにより構成される。

タブレットなどで、Viewer用カメラの映像とViewerア

プリサーバPCに保存された画像解析結果を表示する。Viewerには2つの役割がある。1つは解析結果として出力されたアクションや背番号などが正しいかをオペレーター（第6図の修正者A、B）が目視で確認し、誤っていた場合に即時に修正する修正用UIの役割である。試合中に必要とされる特定の情報、例えばサーブから最初のアタックまでの選手の背番号情報などに対し、その場でオペレーターの修正を加えることで誤りのないデータを低遅延でチームのアナリストや監督、コーチ（以下、スタッフ）に提供できる。もう1つの役割は、スタッフに試合中に各ラリーの映像とスタッフを低遅延で提供し統計情報として提示する役割である。

ともに試合中に使用することを想定し、スタッフが確認しやすいコート後方映像を一定遅延で表示する機能（第9図、①）に加え、ラリー単位でスタッフを表示する機能（第9図、②）、選手ごとのサーブコース分析の結果を表示する機能（第9図、③）など、多量の分析機能を搭載している。

なお、Viewerに表示する内容については、Vリーグのパナソニック・パンサーズのスタッフにアドバイスを頂きながら作成した。



第9図 Viewerアプリケーションの画面例

Fig. 9 Viewer application image

3.4 効果と今後について

本システムにより、バレーボールの試合中にボールの軌跡やどの選手が何のプレイをしたかという情報をリアルタイムに解析し、スタッフに提供することでより綿密な戦略分析を行うことが可能となる。解析結果は戦略立案に活用するだけでなく、選手の育成やチーム強化にも役立てることが可能だと考える。

また、中継において、例えばアタックの打点の高さと速度をリプレイ映像にCG表示するといった番組演出に活用することも可能である。選手ごとの打点の違いや、各選手のスタッフ情報を表示することで、バレーボール

の中継をより見応えのあるものにできる。

4. まとめ

本稿では、画像センシング技術を活用し、試合中に見えないものを自動かつリアルタイムに可視化するソリューションについて述べた。

具体的には、2章でアーチェリー競技を例に、映像を見ただけではわからない選手のコンディション情報の1つとして心拍数の把握が可能なソリューション、3章でバレーボールの試合において多岐にわたるスタッツを自動で収集し、チーム強化や戦略立案に役立てるソリューションを紹介した。

今後、競技ごとに獲得するデータの高度化と、他競技への展開を目指している。東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会およびその先に向けて、さらなるスポーツの魅力を伝えるべく、共創意識の高い団体・企業とともに、臨場感や躍動感を伝える演出ソリューション、選手が最大のパフォーマンスを発揮可能なソリューションを実現していきたい。

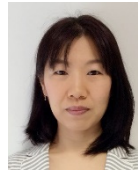
参考文献

- [1] Kentaro Suga et al., "The Contactless Vital Sensing System Precisely Reflects R-R Interval in Electrocardiograms of Healthy Subjects," PACE vol. 40, issue 5, pp.514-515, DOI: 10.1111/pace.13057, May 2017.
- [2] A. B. Hertzman, "The blood supply of various skin areas as estimated by the photoelectric plethysmograph," Am. J. Physiol., vol.124, issue 2, pp.328-340, 1938.
- [3] 橋口 泰武, "緊張時における心拍数の分析," 千葉体育学研究, 第14号, pp.49-54, 1991.
- [4] Jae Kyu Suhr, "Kanade-Lucas-Tomasi (KLT) Feature Tracker," Computer Vision (EEE6503) Fall 2009.
- [5] João F. Henriques et al., "High-Speed Tracking with Kernelized Correlation Filters," 2014.
- [6] "Caltech Pedestrian Detection Benchmark," Computational Vision, http://www.vision.caltech.edu/Image_Datasets/CaltechPedestrians/, 参照 Oct. 24, 2019.
- [7] Jianan Li et al., "Scale-Aware Fast R-CNN for Pedestrian Detection," IEEE Transactions on Multimedia, vol.20, issue. 4, pp.985- 996, 2018.
- [8] "法務省様がパナソニックの「顔認証ゲート」を採用," パナソニック (株), <https://news.panasonic.com/jp/press/data/2017/12/jn171215-1/jn171215-1.html>, 参照 Oct. 24, 2019.

執筆者紹介



田摩 雅基 Masamoto Tanabiki
コネクティッドソリューションズ社
イノベーションセンター
Innovation Center, Connected Solutions Company



古山 純子 Junko Furuyama
コネクティッドソリューションズ社
イノベーションセンター
Innovation Center, Connected Solutions Company



富田 裕人 Hiroto Tomita
コネクティッドソリューションズ社
イノベーションセンター
Innovation Center, Connected Solutions Company



濱田 匡夫 Masao Hamada
コネクティッドソリューションズ社
イノベーションセンター
Innovation Center, Connected Solutions Company



吉原 フウ Phu Yoshihara
コネクティッドソリューションズ社
イノベーションセンター
Innovation Center, Connected Solutions Company