

# 見守りのための映像脈波計測技術の開発

泉 巖, 川崎 佑太, 前田 大輔, 中島 康博, 栞野 晃希

## Development of Video Plethysmography Measurement Technology for Monitoring Service

Iwao IZUMI, Yuta KAWASAKI, Daisuke MAEDA,  
Yasuhiro NAKAJIMA, Koki KUWANO

### 抄 録

ICTの発展に伴い、見守りにおけるバイタルサインの活用が進んでいる。その中でもカメラによる映像脈波計測は、脈拍数を非接触でモニタリングすることができる技術として期待されているが、体動時は計測誤差が大きいことが課題である。この対策として、計測波形から体動成分を分離・除去する方法がいくつか提案されているが、分離後の波形判別や適用条件等に問題点を有している。

本研究ではRGBカメラから得た輝度波形に差分処理を行うことで、既存の体動対策の問題点を解消した映像脈波計測技術を開発した。さらに、見守りを想定した環境で映像脈波計測を行った結果、独立成分分析による方法と比較して精度よく脈拍数を計測できることを確認した。

**キーワード：**見守り, カメラ, 非接触, 映像脈波, 脈拍数

### Abstract

With the development of ICT, the use of vital signs in monitoring service is progressing. Video plethysmography measurement using camera devices is expected as a technology that can monitor the pulse rate in non-contact, but the problem is that the measurement error become large during body movement. As a countermeasure, several methods have been proposed for separating and removing the component of body movement from the signal, but there are problems in signal discrimination after separating and conditions for application.

In this research, we developed a video plethysmography measurement technology by differential process using luminance waveforms obtained from the RGB camera, that solves the problem of existing countermeasure technology against body movement. In addition, we measured video plethysmography in an environment assuming monitoring service, and confirmed that our method can measure the pulse rate more accurately than the independent component analysis.

**KEY-WORDS :** Monitoring service, Camera, Non-contact, Video plethysmography, Pulse rate

## 1. はじめに

ICTの発展により、見守りサービス等における生体情報センシングとデータ活用が進められており、なかでも生命兆候に関する情報であるバイタルサインの活用ニーズが増加している。バイタルサインは、脈拍数、呼吸数、血中酸素濃度、深部体温、血圧といった、医療現場等で日常的に計測される

基本的かつ重要な生体情報である<sup>1)</sup>。このうち脈拍数は、カメラ映像を解析して得られる映像脈波を利用した非接触計測が可能である。映像脈波による脈拍数計測は、接触式センサの利用で生じる皮膚のかぶれや、ウェアラブルデバイスで必要となるこまめな充電といった問題点を解決できることから、見守りサービスへの活用が期待されているが、既存の計測技術では体動時の計測誤差が大きいことが課題となっている。

事業名：経常研究

課題名：生活空間におけるバイタルサイン計測システムの開発

本研究では、RGBカメラによる映像脈波計測システムを試作し、体動時の脈拍数を高精度に計測するための技術開発に取り組んだので報告する。

## 2. カメラによる映像脈波計測

### 2.1 映像脈波とは

映像脈波は、皮膚の反射光を画像解析することで血流が変化する様子を波形として計測したものである。映像脈波をピーク解析することで脈拍数が得られ、健康状態や安否確認のための見守り情報として活用することができる。市販のWebカメラ等により非接触で連続的に計測できることから、脈拍数のモニタリング技術として活用が期待されている。

### 2.2 計測原理

映像脈波の計測は、血液に含まれるヘモグロビンの吸光特性を利用している。ヘモグロビンの吸光スペクトルは、緑色光の波長帯である550nm付近にピークを有しており<sup>2)</sup>、脈動により血流量が変化すると、これに応じて反射する緑色光も変化する(図1)。この現象は皮膚の上から観察できるため、皮膚の反射光に含まれる緑色光強度を解析することで映像脈波を計測することができる。

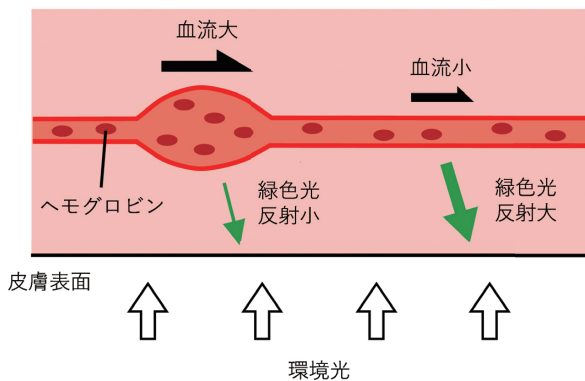


図1 血管で反射される緑色光のイメージ

### 2.3 映像脈波計測システムの試作

緑色光強度の計測には、RGBカメラを利用することができる。RGBカメラは、被写体で反射した光をR(赤)、G(緑)、B(青)の波長帯に応じたフィルタで分光し、それぞれの光の強度を輝度値として計測・出力する。よって、RGBカメラで撮影した皮膚画像のGチャンネルの輝度値を解析することで、映像脈波を計測することができる。

映像脈波は顔に安定して出現するとされており、頬や額の領域に注目した計測事例が多い<sup>3-5)</sup>。本研究では、Webカメラ(C930e, Logicoool社製)の撮影画像に顔の特徴点を検出可能なソフトウェアライブラリ(Dlib, C++ Library)を適

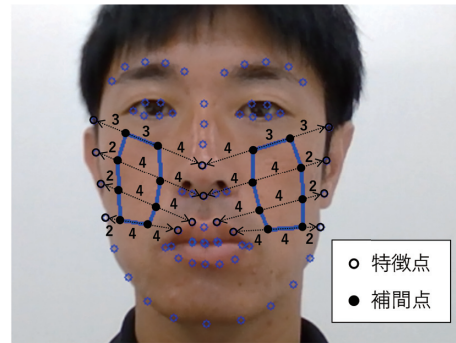


図2 顔の特徴点を利用した頬領域のトラッキング

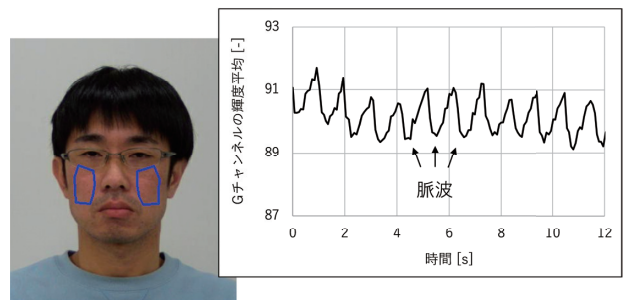


図3 頬の輝度解析により計測した映像脈波

用して両頬のトラッキングを行い、その領域内のGチャンネルの輝度値を解析することで映像脈波を計測した。具体的には、図2のように特徴点の内分により頬周辺を補間した点に囲まれる領域をトラッキングし、領域内におけるGチャンネルの輝度値を平均することで映像脈波を得た。実際に計測した映像脈波の例を図3に示す。

## 3. 体動時の映像脈波計測技術の開発

### 3.1 体動の影響

映像脈波計測における課題の一つが、体動の影響を受けやすいことである。図4は試作したシステムで体動時の映像脈波を計測した例であり、体動が発生したタイミングで輝度が大きく変動していることが確認できる。これにより、脈波成分の消失やピークの誤検出といった問題が発生する。

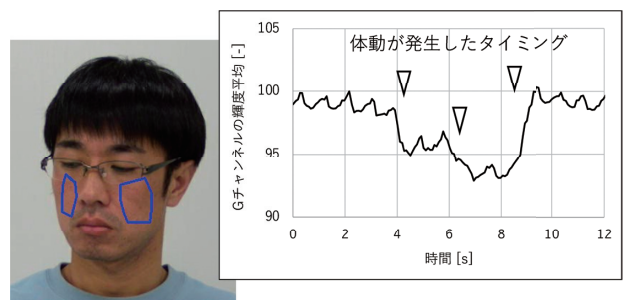


図4 体動の影響による輝度変動

### 3.2 既存の体動対策とその問題点

既存の体動対策としては、独立成分分析 (Independent Component Analysis : ICA)<sup>6)</sup> やバンドパスフィルタ<sup>7)</sup> による方法が挙げられる。ICAによる方法は、RGB画像から得られる3チャンネルの輝度波形を入力として、脈波成分と体動成分を分離した波形を出力する(図5)。しかし、ICAには分離した波形のどれが脈波成分であるか判別する機能がない。このため、ICAの後に脈波成分に該当する波形を判別し選択する処理が必要となるが、自動的に判別するアルゴリズムには限界があり、判別に失敗すると脈拍数に大きな誤差が生じる可能性がある。バンドパスフィルタによる方法は、脈波の周波数帯と異なる振動成分を除去するものであるが、体動が脈波と同じ周波数帯である場合は十分な計測精度を得ることが難しい。

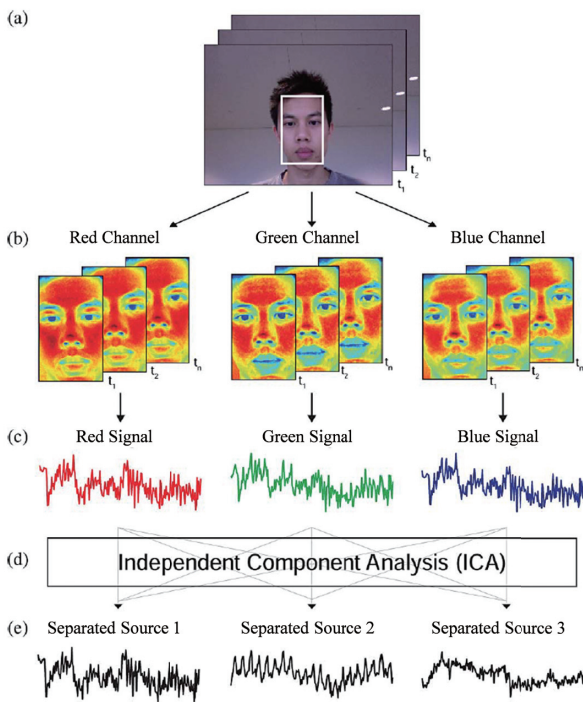


図5 ICAによる脈波成分の分離 (M.Z.Poh et al.(2011)<sup>6)</sup> より引用)

### 3.3 差分処理による体動対策の検討

本研究ではRGB画像から得られる3チャンネルの輝度波形を用いた差分処理による体動対策について検討した。皮膚画像のR及びBチャンネルには、Gチャンネルより脈波が現れにくい。しかし、体動による輝度変動が各チャンネルで同様であれば、差分処理により脈波成分のみが残った波形を抽出できる可能性がある。

この方法にはICAのような波形の分離プロセスがないため、目的波形の判別と選択が不要である。さらに、脈波成分と体動成分が同じ周波数帯であっても体動成分のみが除去さ

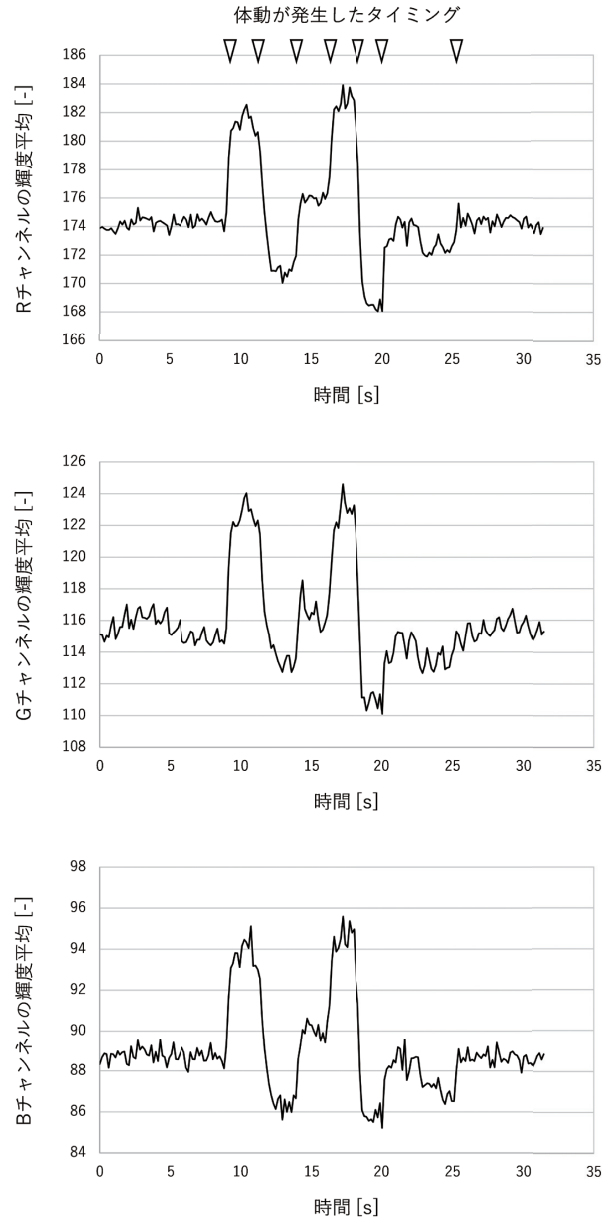


図6 体動に伴う輝度変動の比較 (上から R, G, B チャンネル)

れるため、バンドパスフィルタによる体動対策の問題点を解消することができる。

差分処理による体動成分除去の可能性を確認するため、一定光源下における体動時の輝度変動を各チャンネルで比較した結果を図6に示す。R及びBチャンネルには脈波が現れにくい、体動に伴う基線変動はGチャンネルと類似する傾向にあることを確認した。

### 3.4 体動成分の除去と脈波成分の抽出

体動時の基線変動はR及びBチャンネルで類似していたため、今回はRチャンネルのみを利用した体動成分除去を検討した。Rチャンネルの波形に含まれる高周波成分を2.0Hzの

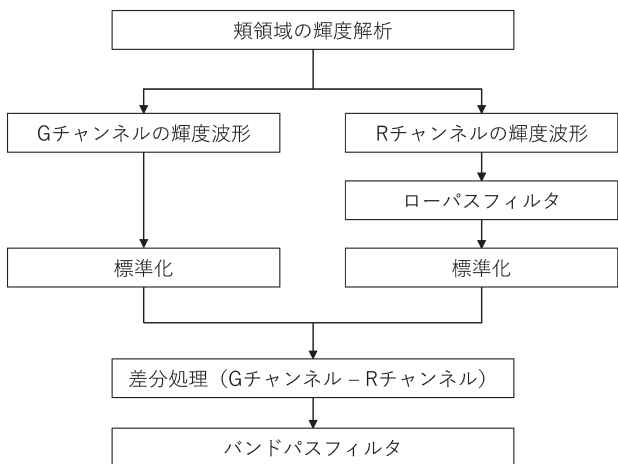


図7 差分処理と脈波成分抽出のフローチャート

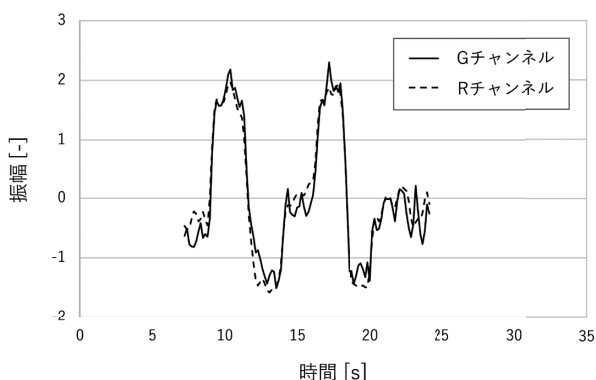


図8 標準化後の G チャンネルと R チャンネルの波形

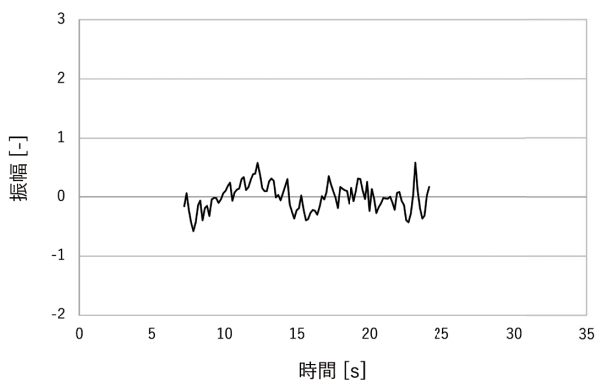


図9 差分処理による体動成分の除去

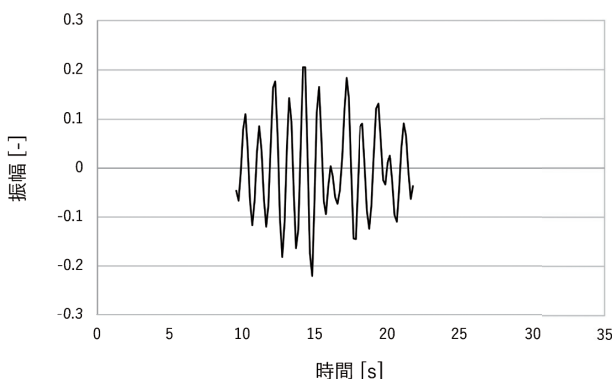


図10 バンドパスフィルタによる脈波成分の抽出

ローパスフィルタで除去し、GチャンネルとRチャンネルの波形をそれぞれ標準化することでスケールを合わせた。その後、GチャンネルとRチャンネルの波形で差分処理を行い、体動成分を除去した。さらに、0.5-2.0Hzのバンドパスフィルタにより脈波成分を抽出した。以上の処理をフローチャートにまとめたものを図7に示す。

参考までに、図6のGチャンネル及びRチャンネルのデータを標準化した波形、差分処理により体動成分を除去した波形、バンドパスフィルタにより抽出した脈波成分の波形をそれぞれ図8, 9, 10に示す。なお、各処理によりデータの両端部が消失するため、グラフに空白区間が生じている。

#### 4. 開発した映像脈波計測技術の評価実験

開発した映像脈波計測技術（以下、提案法）を用いて、当場にニーズとして寄せられている医療機関での新生児見守りを想定した映像脈波計測実験を行い、その計測結果をICAによる既存の映像脈波計測技術（以下、ICA法）による計測結果と比較・評価した。

##### 4.1 実験手順

医療機関での新生児見守りを想定し、実験室内において仰臥位の姿勢で顔を撮影可能な実験環境を構築した（図11）。部屋の照度は顔の位置で600lx程度であり、カメラの解像度は640×480pixel、顔とカメラの距離は1mとした。実験は安静及び体動の2パターンの条件で行い、安静時は正面から顔を撮影し、体動時は顔認識される範囲で左右へ顔を動かしながら撮影を行った。

各条件で計測した映像脈波に提案法及びICA法をそれぞれ適用し、30秒間の脈波成分波形を抽出した。抽出した波形に1階微分ガウス関数による畳み込み演算<sup>8)</sup>を行い、得られた微分時系列信号のゼロクロス点をもとに脈波成分波形のピークを検出し、ピーク間隔の平均値から1分あたりの脈拍数を算出した。



図11 実験環境



脈拍数の正解データは、指先に装着した光電式容積脈波センサ（M9008-3P）で計測した脈波から算出した。局所最大値処理<sup>9)</sup>により計測した脈波のピーク検出を行い、ピーク間隔の平均値から1分あたりの脈拍数を算出した。

#### 4.2 被験者

20～50代の健康な男性3名に対し、安静及び体動の条件で5回ずつ実験を行い、計30データを計測した。なお、本実験は地方独立行政法人北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部の規定に基づく倫理審査委員会の承認後、被験者に研究概要を口頭で説明し、インフォームド・コンセントを得た上で実施した。

### 5. 実験結果

安静時及び体動時の実験結果を図12に示す。正解データに対する一致精度を相関係数（R）で評価した結果、安静及び体動の両条件において、提案法はICA法より高い相関がある

ことを確認した。さらに、正解データに対する平均二乗誤差を整理した結果を図13に示す。安静及び体動の両条件において、提案法はICA法より計測誤差が小さいことを確認した。以上より、提案法はICA法と比較して体動時の脈拍数をより正確に計測可能であることを確認した。

一方、体動時の脈拍数は正解データとおおむね一致しているものの、安静時ほどの精度は得られなかった。体動時の誤差が大きいデータを確認したところ、体動に伴う輝度変動を完全に除去できなかった箇所ではピーク波形が消失していた。今回使用しなかったBチャンネルの波形情報の活用や、各チャンネルの基線変動をより正確に一致させる方法等の検討により改善できる可能性が考えられるため、今後の検討課題として取り扱いたい。

### 6. おわりに

本研究では、体動時の脈拍数を正確に計測するための技術開発に取り組み、RGBカメラから得た輝度波形に差分処理

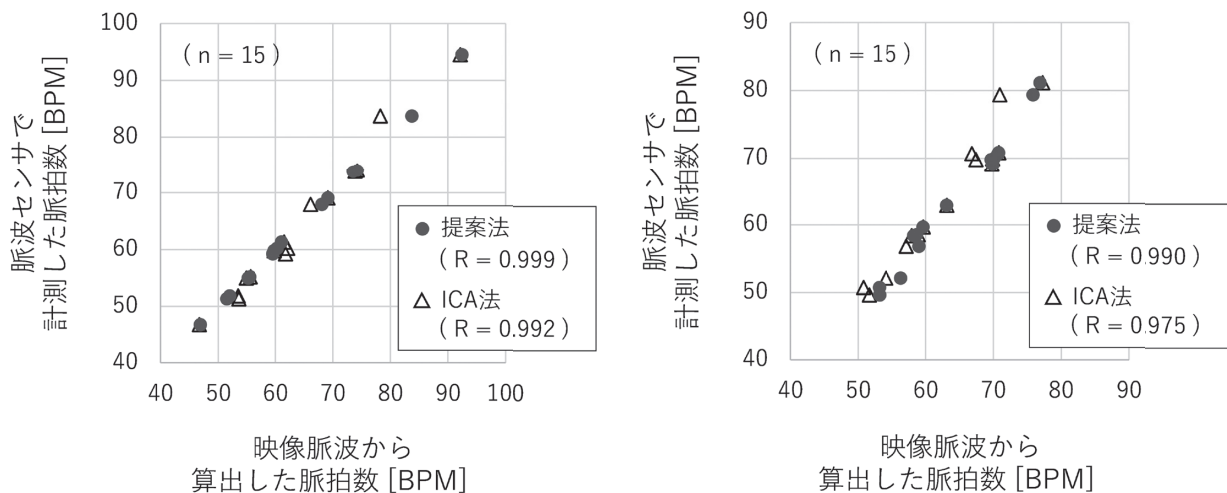


図12 映像脈波から算出した脈拍数と正解データの比較  
(左：安静時，右：体動時)

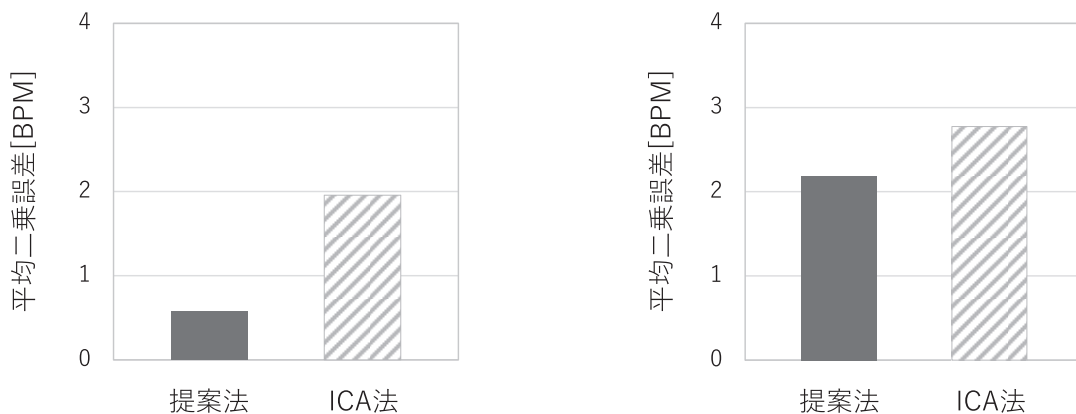


図13 正解データに対する平均二乗誤差  
(左：安静時，右：体動時)

を行うことで、既存の体動対策の問題点を解消した映像脈波計測技術を開発した。さらに、医療機関での新生児見守りを想定した映像脈波計測実験を行い、開発した技術を適用することで体動時の脈拍数をICA法より正確に計測できることを確認した。

今後は、実際の見守り現場へ展開するための技術支援に取り組むほか、消灯時の利用を想定した映像脈波計測技術の開発等についても検討したい。

## 参考文献

- 1) 坂本すが, 井手尾千代美, 木下佳子, 他: “完全版ビジュアル臨床看護技術ガイド”, 第3版, pp.30-50, 照林社, (2015)
- 2) Prah Scott : “Optical absorption of hemoglobin”, <https://omlc.org/spectra/hemoglobin/>
- 3) Sungjun Kwon, Jeehoon Kim, Dongseok Lee, et al.: “ROI analysis for remote photoplethysmography on facial video”, IEEE Conf. EMBC, pp. 4938-4941, (2015)
- 4) Lakmini Malasinghe, Stamos Katsigiannis, Keshav Dahal, et al.: “A comparative study of common steps in video-based remote heart rate detection methods”, Expert Systems with Applications, 207, 117867, (2022)
- 5) Kun Zheng, Kangyi Ci, Hui Li, et al.: “Heart Rate Prediction from Facial Video with Masks Using Eye Location and Corrected by Convolutional Neural Networks”, Biomed. Signal Processing Control, 75, 103609, (2022)
- 6) Ming-Zher Poh, Daniel J. McDuff, and Rosalind W. Picard: “Advancements in Noncontact, Multiparameter Physiological Measurements Using a Webcam”, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 58, No.1, pp. 7-11, (2011)
- 7) Chihiro Takano, Yuji Ohta: “Heart rate measurement based on a time-lapse image”, Medical Engineering & Physics, Vol. 29, Issue 8, pp. 853-857, (2007)
- 8) 鶴飼和歳, ラシェドゥーラ ラーマン, 小橋昌司: “多点計測投票法による時系列顔画像からの短時間R-R間隔推定”, システム制御情報学会論文誌, Vol.31, No.12, pp.402-411, (2018)