

脈波を取得可能な面センシング技術の実装と評価

千 明 裕† 前 田 篤 彦† 小 林 稔†

各種バイタルセンサを用いて生体情報を取得し活用しようとする研究が多く行われ、それによって有用性の高い知見が得られている。我々はこの様な生体情報を活かしたサービスの実現を目指し、脈波と呼ばれる、指先から取得可能でユーザの心理状態や健康状態を反映する生体情報の取得を、小型デバイスに搭載したセンサから日常的に行いたいと考えている。一方で従来の点取得型センサはセンサ部分に指先を合わせるという位置合わせを必要とするため、小型デバイスに搭載してユーザの負担なく容積脈波を取得することは困難である。我々はこの問題を解決するため、面センシングによる、位置合わせが不要な脈波取得技術を提案する。提案手法のセンシング面は面上の位置によらず脈波を取得可能で、また厚みや曲げ具合を自由に設計出来るため既存のデバイスへ容易に実装可能である。提案手法の有効性検証のため、実装したプロトタイプおよび既存手法である点取得型センサを用いて脈波を取得し、心理的な疲労やストレスの尺度である LF/HF を算出し比較したところ、提案手法は点取得型センサと同等の性能を示し、またセンシング面の形状、センシング面に接触する生体部位の違い、照明の違いといった実用を想定した様々な条件の元でもロバストに脈波を取得可能なことが示された。

A study on 2D sensing method to catch plethysmography

HIROSHI CHIGIRA,[†] ATSUHIKO MAEDA[†] and MINORU KOBAYASHI[†]

Photo-plethysmography collects the data needed to assess the activity of the autonomous nervous system and arterial state. Unfortunately, current sensors force the user to align and hold the finger to a single sensor point, which degrades usability. To solve this problem, we propose a novel sensing method that relaxes the alignment requirement. The proposed method uses 2 thin acrylic plates, an emitting plate and a detection plate, as an IR waveguide. The proposed method can yield very thin curved sensors. An experiment compares the proposed method to the conventional method (point-sensor) in terms of LF/HF discrimination performance, and the proposed method is shown to offer comparable performance with superior usability.

1. はじめに

ユーザの生体情報を取得して有益な情報を抽出し、それを活用しようという研究が今までに多く行われ、それによって多くの知見が積み重ねられている。村山ら¹⁾の脈拍数を用いた眠気や緊張状態の判定や、Hirshfieldら²⁾による脳 fNIRs (機能的近赤外光イメージング)を用いた作業負荷計測などはその一例である。

この様な状況の中、我々は生体情報をより日常的に取得するための技術を構築したいと考えており、その中でも特に**容積脈波**(以下、単に脈波と表記する)と呼ばれる生体情報に注目している。その理由は次の通りである。

- 脈波は指先にセンサを当て取得可能であるため、携帯電話、タブレット型端末、リモコン等といった、ユーザが手に把持して使用する小型デバイスと相性が良い。
- 脈波は心拍の情報と血管の内部情報を兼ね備えた生体情報であり、心理状態、身体状態など、ユーザの様々な情報を入手可能である。

このような特徴を持った脈波を、ユーザが日々使用するデバイスに搭載し、日常的に脈波を取得することで様々な可能性が広がるといえる。

一方これまで脈波は、一点でのみ取得が可能な点取得型のセンサに位置を合わせて取得されていた。デバイスにこの様な点取得型の脈波センサを搭載してユーザの脈波を日常的に取得しようとする、ユーザはセンサの取り付け位置にわざわざ位置合わせをして把持する必要があり、それによってユーザが本来行うべき行動を妨げてしまうことや、ユーザ本来の状態を取得

[†] 日本電信電話株式会社 NTT サイバーソリューション研究所
NTT Cyber Solutions Laboratories, NTT Corporation

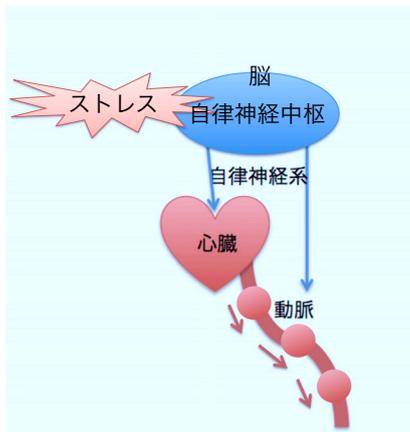


図 1 脈波の発生原理

Fig. 1 The mechanism of plethysmography.

出来ないといった問題が生じる。

我々は上記の問題をふまえ、ユーザが位置合わせをせず普段通りデバイスを使用するだけで脈波を取得可能にする、発光板と受光板という2枚の板から構成される面センシング技術を提案し、それに基づいたプロトタイプの実装と評価実験を行った。この様な新たなセンシング技術の有効性について検証と議論を行うことが、本論文の貢献するところである。

2. 脈波とその応用可能性

2.1 脈波とは

脈波は手や指、耳朶といった末梢部位の動脈における血液の容積変化を表す生体情報である。心臓が拍動する度に血液は中枢の動脈に送出され、末梢まで到達する。その過程において、血液は自身の経路である動脈の状態に応じて影響を受ける。その結果、脈波には心拍動による情報と、動脈の状態が反映されるが、心拍動も動脈も図1の様に自律神経系の影響を受けており、ユーザのストレスや、タスク遂行時の作業負荷、集中度、疲労、眠気といった、様々な心理状態が反映されるといわれている³⁾。

2.2 脈波の応用可能性

もしこの様な有益な情報を持った脈波を取得する機能が様々な小型デバイスに搭載され、ユーザがそれらを日常的に何気なく使用するだけで脈波を取得出来れば、次の様なことが可能になる(図2)。

- 作業中のストレス検知：オペレータやVDT作業者は心理的ストレスに晒されているといえ、彼らの状態を的確に把握することで、健全な労働環境を築けるといえる。もしいつも通り使用しているだけで作業者の手や指から脈波を取得出来るマウスがあれば、オペレータやVDT作業者のストレ



図 2 脈波を日常的に取得することで実現可能な例。

Fig. 2 Two examples realized by photo-plethysmography in daily life.

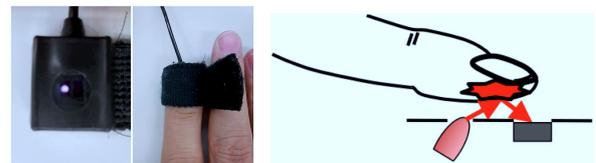


図 3 光電式脈波センサ (BIOPAC 社製 TSD200) とその模式図。
Fig. 3 The photo-plethysmography sensor (BIOPAC, TSD200) and the mechanism of it.

ス状態をモニタリングし、過度のストレスや疲労を検知して休憩を促すなど作業者の健康状態維持に繋がる。

- 運転中の眠気検出：眠気や、疲労に伴う注意散漫は重大事故の原因である。もし握っているだけで脈波を取得出来るハンドルが世の中の自動車に搭載されれば、普段通り運転しているだけでドライバーの眠気や疲労を検出して警告を提示するなど、事故のない車社会実現に貢献出来る。

ここに挙げた例は一例にすぎず、今後新たな知見が得られる可能性も考えられる。その可能性も考慮すれば、脈波を効果的に取得可能なセンシング技術を生み出すことは非常に意義があるといえる。

3. 関連研究

今日、脈波を取得するための一般的な方法は光電式とよばれる、赤外光の発光素子および受光素子を組み合わせたセンサを用いるものである(図3)。これは近赤外波長光が生体を透過し血中へヘモグロビンに吸収される特性を利用し⁴⁾、生体部位の近傍にセンサを設置して赤外光(600~1000nmが多く用いられる)を照射し、反射した散乱光の光量を捉える方法である。

脈波センサは一般的に点のみでの取得が可能であるため、位置合わせが必要である。この様なセンサをマ

ウス等に搭載してユーザの心理状態をモニタリングするという先行例も存在するが⁵⁾、やはり指先を脈波センサが搭載された位置に固定しておく必要があり、ユーザにとって煩わしいといえる。

光電式以外に脈波を取得するための方法として、動脈の容積変化を圧力変化として捉える方法も存在する。この方法も位置合わせやセンサを生体部位に固定することが必要である⁶⁾。

一方、カメラでユーザの顔等を記録し、その動画像のRGB値の変化を用いて検出を行うことで、非接触で脈波を取得する方法も提案されている⁷⁾。この方法は位置合わせを必要としないが、カメラの設置を必要とし、また取得精度が低いという問題がある。

4. 要件定義

従来の脈波センサの問題点をふまえ、小型デバイスに搭載し、ユーザの負担なく脈波を取得可能なセンシング技術が満たすべき要件を以下で定義する。

- (1) 位置合わせが不要である：ユーザがセンサ位置に対し意識的に位置合わせを行わずとも、脈波を取得可能である。
- (2) 形状を自由に設計可能である：形状を既存の小型デバイスに合わせて設計出来、日常的に使用されるデバイスにその外観や形状を大きく変えずに搭載可能である。

5. 提案手法

上記の要件を満たす方法として我々は、現在主流の方法である光電式の技術を拡張することを考えた。例えば要件(1)を実現するのであれば、ユーザの生体部位(指先)がデバイス上のどの位置に接触していてもその生体部位に赤外光を照射し、そして反射する散乱光を受光する必要がある。そこで我々は、位置によらない赤外光照射の実現のための、LCDのバックライト等に採用されている面発光技術を用いた発光板と、そして位置によらない散乱光受光の実現のための、アクリルを用いた受光板という2枚の板から構成される、**脈波を取得可能な面センシング技術**を構成することを考えた。

面発光技術のなかでも、我々は特に導光板と呼ばれる部品に注目した。これは拡散ドットパターンと呼ばれる、光を散乱させる構造を底面に備えた薄い板であり、側面からの入射光を内部全反射させながら、拡散ドットパターンに反射し面で発光させることが可能である⁸⁾。またアクリルは空気(または真空、屈折率1)に比べ高い屈折率(1.49)を持ち、内部に入射した赤

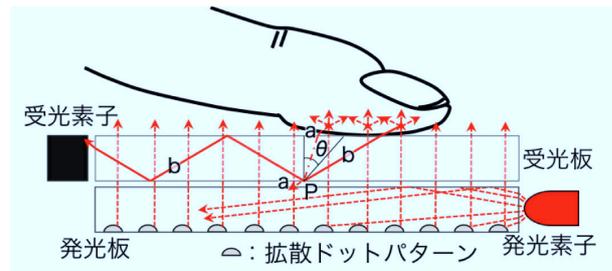


図4 提案手法。
Fig. 4 The proposed method.

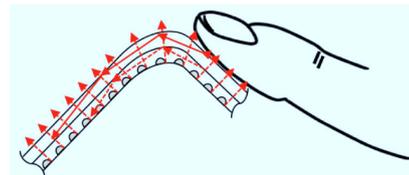


図5 曲面の場合。
Fig. 5 The curved surface.

外光のうち、臨界角より大きな角度を持つ成分を内部全反射させることが出来る。

以下では図4を用い、提案手法の詳細な説明を行う。提案手法では、発光板と受光板を下から順に薄い空気の層(真空でもよい)を持つ様に重ね、発光板の側面には発光素子を、受光板の側面には受光素子を配置する。センシング面は受光板の表面である。

発光板は発光素子から照射され、自身の内部へ入射した赤外光を受光板および生体部位が存在する方向へ変え、更に点ではなく面状に照射する。アクリルは高い赤外透過率(0.9以上)を持つため、発光板から照射された赤外光は少ない減衰で受光板を透過し、受光板に接触する生体部位に反射し、散乱光が生じる。

この散乱光のうち、受光板内に入射した成分に注目する。例えば図4の点Pには、指先から散乱光a, bという2パターン成分が入射している。 θ は受光板内部における臨界角であり、前述したアクリルおよび空気の屈折率から約 42.2° と求められる。散乱光aは θ より小さい入射角で点Pに入射するため、内部全反射せず受光板外へ出射する。一方で散乱光bの入射角は θ より大きいので、点Pにおいて内部全反射し、その後も内部全反射を繰り返して受光板の側面より出射する。

この様に、受光板内に入射して内部全反射する成分を、受光板側面に配置した受光素子で検出することにより、脈波を取得可能になる。

現在LCDに用いられている導光板はその厚みが1mm以下のものも存在し、また受光板の厚みについ

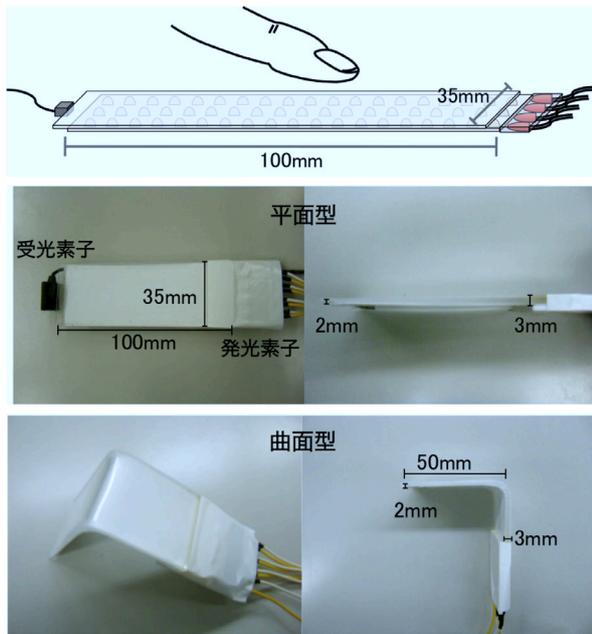


図 6 プロトタイプ (平面型および曲面型)。

Fig. 6 Two prototypes (the flat type and the curved type).

でも同様に薄くすることが可能である。更に提案手法は図 5 の様に、発光板および受光板が曲面を持つ場合でも実現可能である。これは曲面であっても平面の場合と同様に内部全反射が成立するためである。

5.1 利 点

これまで述べた提案手法の利点は以下の通りである。

- (1) 位置合わせが不要：提案手法の原理はセンシング面上の位置によらず成り立つため、位置合わせをせずに脈波を取得可能である。
- (2) 形状を自由に設計可能：受光板と発光板は薄く、また原理が保たれる範囲内で、厚みや曲げ具合を自由に設計可能である。

つまり、提案手法を既存のデバイス形状に合わせて搭載し、それをユーザが普段通り使用するだけで脈波の日常的な取得が可能になる。

6. 実 装

提案手法に基づき平面型、曲面型、マウス実装型の 3 種類のプロトタイプを作成した。平面型は平面のセンシング面を持ち、また曲面型は小型デバイスに搭載する際の形状を想定して、センシング面の一部に曲面を持たせたものである。(図 6)。またマウス実装型は 2.2 節で述べたマウスの例をイメージし、参考として実装したものである(図 7)。以下では特に平面型と曲面型の実装方法について述べる。

発光板を構成するにあたり、SHARP 製 8.9 インチ



図 7 プロトタイプ (マウス実装型)。

Fig. 7 The prototype implemented in the mouse.

LCD (LQ089B1LS01) に内蔵されていた導光板および反射シートを共に用いた。この導光板は光の入射部分が 2mm で最も厚く、先端部分が 1mm で最も薄いというテーパ形状を持つ。また、反射シートを併用することで、導光板の発光効率が向上する。発光板の大きさは 35mm × 100mm の大きさとし、短辺を入射部分とした。そしてそこに発光素子 (OptoSupply 社 OSI5FU5111C-40, ピーク波長 940nm) を 4 個配置し、100mA の直流電流により発光させた。

次に受光板であるが、これにはアクリル (日東樹脂工業クラレックス精密板, 透明) を用いた。厚みは受光素子の大きさに合わせ 0.8mm を選択し、また大きさは発光板と同様 35mm × 100mm とした。受光板のうち受光素子を設置する面は散乱光の減衰を抑えるために研磨し、そこに図 3 に示した脈波センサ (BIOPAC 社 TSD200) を設置した。このセンサには受光素子と発光素子の両方が搭載されているため、発光素子部分を遮蔽し、受光素子と受光板側面との位置を合わせて設置した。これにより脈波を同社のセンサシステム (MP150) を経由して PC (Windows7) へ取り込むことが出来る。

また、曲面型のプロトタイプは平面型プロトタイプの受光素子部分から 50mm の位置を熱加工して半径 6mm の円柱に沿わせ、これにより曲率半径 6mm で直線部分同士の角度が 90° になる様加工した。

この様にして作成した平面型と曲面型のプロトタイプは最厚部 (入射部分) で 3mm, 最薄部で 2mm の厚みを持つことになる。但し、理論上はこれより薄く実装可能であるということをつけ加えておく。

7. 評価実験

実装したプロトタイプを用い、提案手法の有効性を評価することが本評価実験の目的である。これは具体的には 4 節の 2 つの要件が実現されていることと、提案手法が想定使用環境でもロバストに脈波を取得可能かというロバスト性、この 2 点について確認することになる。

まず要件である。要件 (1) に関しては、受光素子からセンシング面上の生体部位が接触する位置 (以下、

接触位置とする)までの距離が取得結果に影響すると考えられるため、これを評価する。また要件(2)に関しては、受光素子と接触位置との間に曲面部分が存在しても脈波を取得可能かを確かめる。

次にロバスト性である。これについて、我々は接触部位、照明、個人差に着目して評価を行うことにした。ここで接触部位はユーザが指先や指全体といった様々な部位でセンシング面に接触する可能性をふまえてのものであり、照明はユーザが様々な照明環境下でセンシング面を使用することを想定してのもの、そして個人差はどのユーザが使用しても安定して取得可能かどうかを確かめるためのものである。

以上の評価を行う際の尺度には、脈波から算出される LF/HF と呼ばれる心理的なストレスの指標(後述する)を選んだ。提案手法で取得した脈波からこの指標が正しく算出出来ることで、2.2 節で示した例が実現可能になる。

7.1 実験方法

実験は以下の要因と水準で行った。特に明記がない場合被験者は1名(被験者1, 26歳, 男性)、センシング面の形状は平面型、接触部位は3本指(人差指, 中指, 薬指)先端、照明は蛍光灯(TVなし)である。

- (1) 受光素子から接触位置までの距離を要因とし、10, 30, 50, 70mmの4水準、接触部位は1本指(人差指)先端。
- (2) センシング面の形状を要因とし、平面型、曲面型の2水準、接触位置は受光素子から70mm、接触部位は1本指先端。
- (3) センシング面に接触する接触部位を要因とし、1本指先端、3本指先端、3本指全体という3水準。
- (4) 照明を要因とし、ハロゲンライト、蛍光灯(TVなし)、蛍光灯(TVあり)、自然光の4水準。
- (5) 個人差を要因とし、被験者1から被験者7までの7水準(25歳から27歳, 男性5名, 女性2名)。

各照明における照度はハロゲンライトで100ルクス、蛍光灯(TVなし)で1400ルクスであった。蛍光灯(TVあり)の場合は、蛍光灯を点灯した状態で、センシング面から水平距離1mの位置に42インチのTV画面(冷陰極管タイプ)を設置し、白黒が1秒毎に切り替わる映像を放映した。この時1405ルクス(黒画像)から1410ルクス(白画像)の照度が記録された。自然光は8400ルクス以上であった。

実験の際、被験者は姿勢良く椅子に座った状態で、左右の手および体を動かさない様指示された。その状

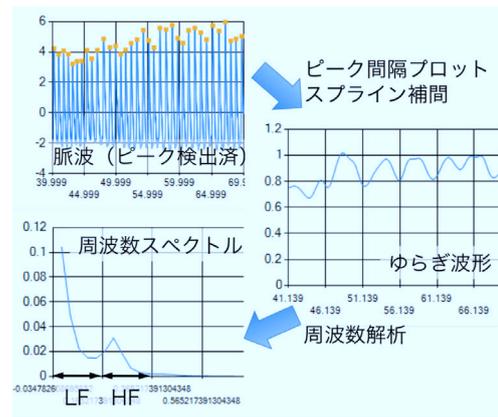


図8 LF/HFの算出方法

Fig.8 How to calculate LF/HF.

態で左手人差指に基準手法であるBIOPAC社の脈波センサを取り付け、右手で提案手法のセンシング面上に力を入れずに接触し、30秒間の安静時間の後、1水準について180秒間×3回の脈波取得を行った。

7.2 LF/HF

脈波のピーク同士の間隔は、自律神経系(交感神経系・副交感神経系)の影響によって変動する。この間隔のばらつき(ゆらぎ)がリラックス状態では大きくなり、集中時や緊張状態、心理的な疲労状態等になると小さくなることが報告されている。

LF/HF(Low-Frequency/High-Frequency)は自律神経系の活動を表す指標の1つであり、脈波のピーク間隔の変動を表すゆらぎ波形と呼ばれる波形をスペクトル解析し、交感・副交感神経系両方の活動度合いを表すLF帯(本論文では0.04~0.16Hzと設定)と、副交感神経系の活動度合いを表すHF帯(本論文では0.16~0.4Hzと設定)とのパワーの比を取ったものである(図8)。

以下では簡単のため基準手法、提案手法を用いて取得した脈波から算出したLF/HFをそれぞれ基準LF/HF、提案LF/HFと呼ぶことにする。本評価実験では基準手法と提案手法それぞれで同時に180秒間取得した脈波から基準LF/HFと提案LF/HFをそれぞれ算出し、その絶対誤差

$$|LFHF_c - LFHF_p| \quad (1)$$

を求める。これにより1水準について3個の絶対誤差が求められ、これを従属変数として評価を行う。LFHF_cは基準LF/HF、LFHF_pは提案LF/HFである。

日常のストレスや作業によりLF/HFは3から5程度変化するといえ⁹⁾¹⁰⁾、まず我々はこの様な大まかなLF/HFの違いを提案手法により捉えたいと考えた。そのために提案手法が満たすべき精度として、絶対誤

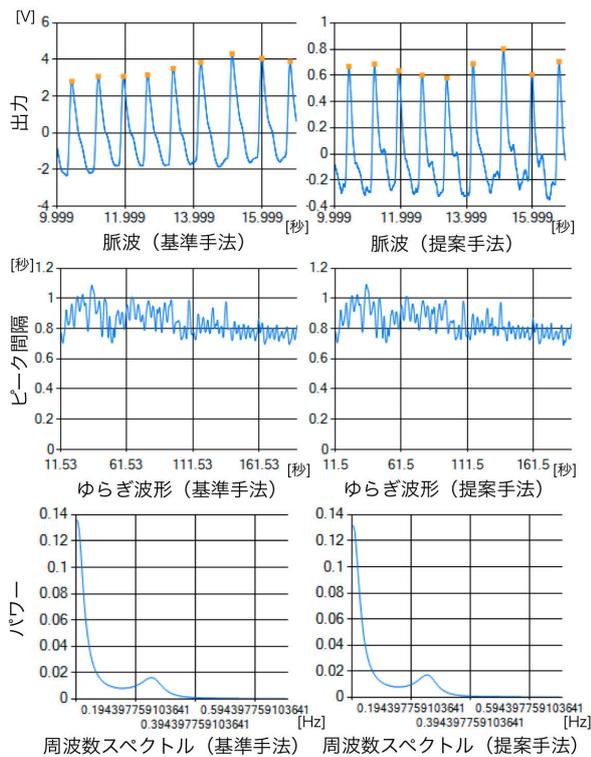


図9 取得結果の一例(被験者1). 脈波は電圧値で取得される.
Fig.9 The photoplethysmography, the peak-to-peak plot, and the spectrum (subject 1).

差が1以下に収まることを目標とした。

なお、LF/HF 算出時の処理(ピーク検出, ゆらぎ波形算出, スペクトル解析)は全て Microsoft 社の Visual Studio.Net と C#を用いた。ピーク検出はピーク間隔, ピークの高さ毎に閾値を設けて行い, ゆらぎ波形算出には 8Hz のスプライン補間を, スペクトル解析には最大エントロピー法を用いた。

8. 結 果

結果の一例として, 被験者1の脈波(7秒間の抜粋), ゆらぎ波形および周波数スペクトル(180秒間)を図9に示した(センシング面の形状は平面型, 3本指先端を同時接触, 蛍光灯(TVなし)で取得)。脈波の四角のプロットは検出されたピークを表す。

図10(a)~(e)は, 各要因における絶対誤差の結果を要因毎に示したものであり, 各水準において得られた3つの絶対誤差の値をプロットしてある。絶対誤差は個人差を要因とした場合に被験者7から得られた1.83という値が最大で, 次いで被験者3から得られた0.88となり, 全て1を下回った。

9. 考 察

受光素子からの距離を要因とした場合, 距離に対す

る絶対誤差の増加はみられなかった。そのため, 提案手法は要件(1)を満たすことが出来ると考えられる。ただし図11に示す通り, 距離の増加に伴い脈波の振幅が減少する傾向がみられた。振幅の減少によって波形が不安定になることや, 脈波そのものが取得不可能になることが考えられるため, 受光素子からの距離を必要以上に増加させることは提案手法の有効性を損なう可能性がある。一方で提案手法を実装する対象である小型デバイスの大きさや周囲長が100mm程度であることを考慮すれば, 今回得られた絶対誤差の値を大きく超えることはないといえる。

センシング面の形状を要因とした場合, 曲面型と平面型で結果を比較すると, 曲面型において絶対誤差が大きくなる例(0.47)が一例確認されたが, それ以外の結果は平面型と同程度であった。よって今回作成した曲面型プロトタイプに関しては, 曲面部分が絶対誤差に及ぼす影響は小さいと考えることが出来, 要件(2)についても満たすことが出来たとみなせる。但し, 提案手法の曲げ形状には限界があることも分かっている。これは曲面の曲率半径が0の場合である。この場合は赤外光が内部全反射せず, 提案手法の原理が成立しない。しかし, これは曲面部分に面取り加工を行い回避可能である。

接触部位を要因とした場合, 各水準において顕著な違いは見受けられないことから, 提案手法は接触する指の数や, 指の先端であるか, 全体であるかによらず脈波を取得可能であると結論づけられる。またそれだけでなく, 複数の部位で接触することにより, 受光素子の受光量が増大し, 脈波を安定して取得可能というメリットも考えられる。この点からも提案手法は有効である。

照明を要因とした場合, 4水準で明確な違いを確認することは出来なかった。一方で, 蛍光灯(TVあり)の場合にはTV画面が発する赤外光変化が, そして自然光の場合には多量の赤外光が及ぼすと考えられるため, この2つの水準について脈波を観察した。すると蛍光灯(TVあり)の場合, 図12の様な波形変化(矢印)とピークの誤検出(丸)が確認出来た。波形変化の時間間隔からこれは映像変化が及ぼす影響であると判断出来る。また, 自然光で取得した脈波には図13の様に振幅の減少, 波形形状の劣化, ピークの誤検出が見受けられた。これは自然光に含まれる多量の赤外光がノイズとなったと考えられる。但し, この様な問題箇所が存在してもなお, 絶対誤差は小さく抑えられており, 提案手法は想定される照明の影響に対してもロバストであることが示されたといえる。

脈波を取得可能な面センシング技術の実装と評価

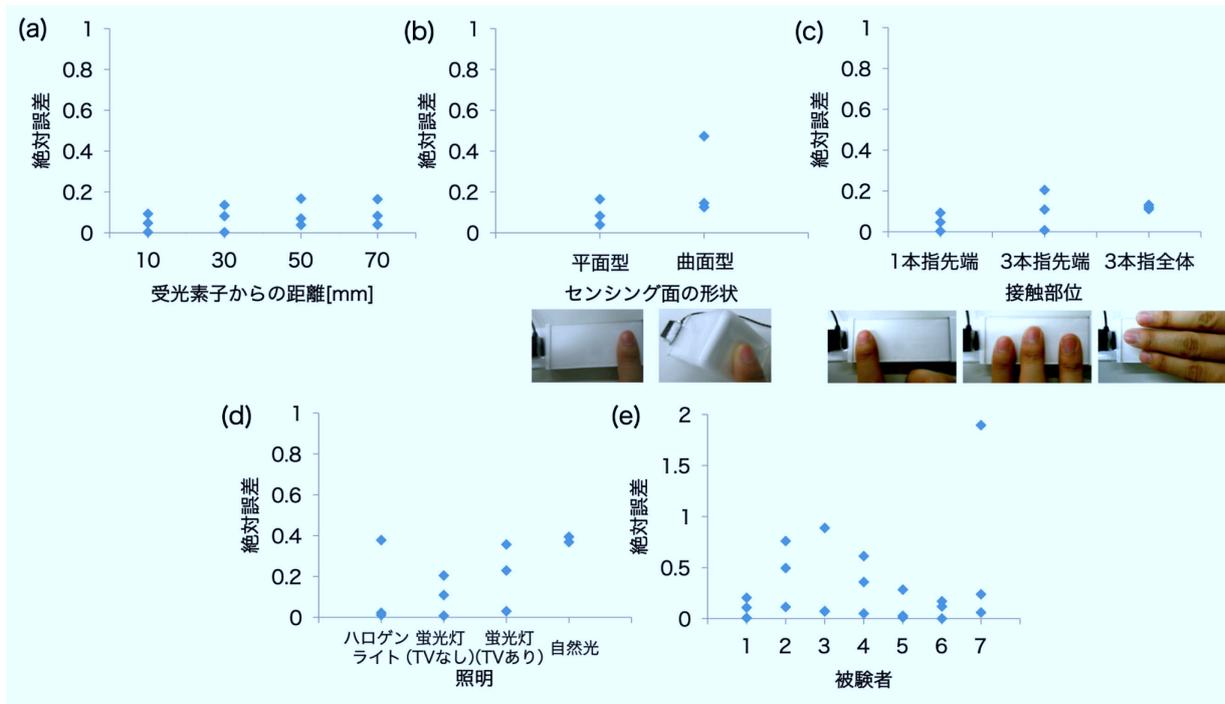


図 10 結果.
Fig. 10 The results.

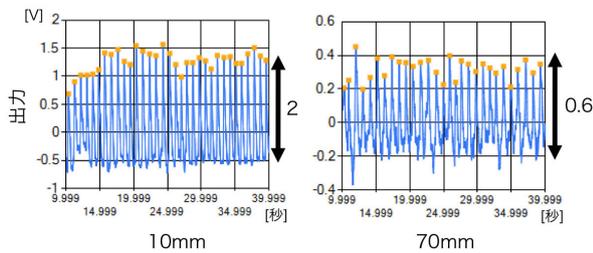


図 11 受光素子からの距離に対する脈波の振幅.
Fig. 11 The difference of the gain (10mm, 70mm).

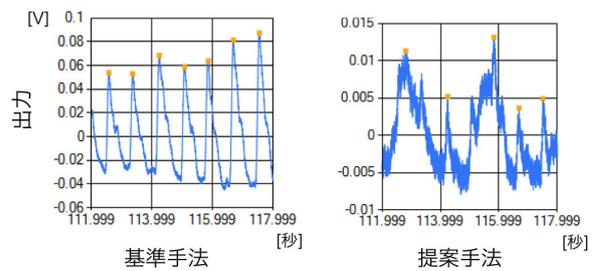


図 13 自然光下で脈波が乱れた例.
Fig. 13 The unstableness at sunlight.

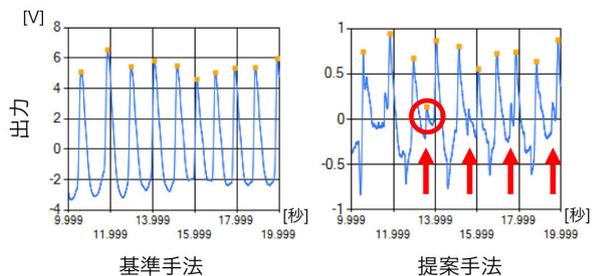


図 12 テレビによるノイズ (矢印) とピークの誤検出 (丸).
Fig. 12 The noise by TV (arrow) and the false peak detection (circle).

個人差を要因とした場合、被験者 1 から 6 まで違いは確認されなかったが、被験者 7 において絶対誤差が大きくなる場合があった。そこでこの時の脈波を観察すると図 14 の様なノイズが確認され、更に実験中の

被験者の様子から、このノイズの原因はセンシング面上で指が動いたことであると判明した。もしこの様なノイズが存在しなければ提案手法は 7 名の被験者において個人差なく脈波を取得可能であったといえる。

ところでこの様な動きによるノイズへの対策という観点から考察してみる。提案手法は基準手法の様にセンサ位置に対して生体部位を固定しないため、接触部位が動いた際のノイズの影響を受けやすいといえる。よって提案手法は、デバイスにおいて、生体部位が出来るだけ動かずに接触し続ける箇所に設置することが望ましい。例えばマウスであれば、クリック時の影響を受けにくく指先が接触し続ける側面がその設置候補と考えられる。また、ノイズ除去の方法も適用すべきであろう。これは例えば、取得した脈波の乱れを検知しその部分を除外することや、補間することが考えら

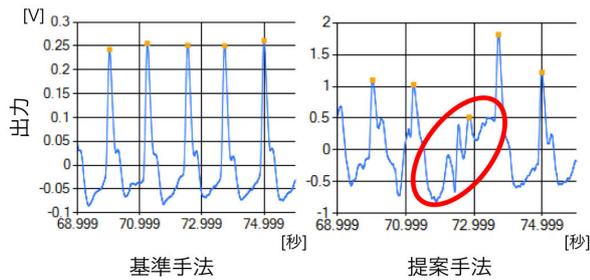


図 14 被験者 7 の脈波に生じたノイズ (楕円部分)。

Fig. 14 The noise on the subject 7's plethysmography data.

れる。更に、よりノイズに強い解析方法を用いることも考えられる。本論文では LF/HF 算出の際、一般的な方法であるピーク間隔を 1 つずつ求めることによるゆらぎ波形の算出を行ったが、この算出方法はノイズに対するロバスト性を低下させる要因であるといえる。これを回避するため、例えば Barros ら¹¹⁾ の様に、波形の周波数特性を用い、ピーク検出をせずにゆらぎ波形を算出する方法を応用することも考えられる。

以上結果について考察してきたが、被験者 7 に生じた大きな絶対誤差を除けば、提案手法は基準 LF/HF の値を約 0.5 から 1 程度の絶対誤差で算出可能であり、我々が求める精度を達成出来たことになる。一方 LF/HF のより細かな変動を追う場合¹²⁾、絶対誤差はより小さな値、例えば 0.1 程度に収まる必要があるが、提案手法が持つ現状の性能では、この実現は難しいといえる。しかし、今回作成したプロトタイプは初期型のものであり、例えば受光板と受光素子の接合部分における減衰が大きいなど改善すべき点が存在する。今後より精密な設計と実装を行うことにより、提案手法の性能を上記した様なレベルに近づけられる余地はあるといえる。

10. 終わりに

我々は本論文において位置合わせを必要とせず脈波を取得可能にする面センシング技術を提案し、実装したプロトタイプを用いてその基本的な性能と実用性について確認を行った。今後はプロトタイプの高精度化と更なる性能評価、そして小型デバイスへの搭載を行っていきたくと考えている。

参考文献

1) 村山, 手塚, 武藤, 阿部: 脈拍数の時間変化特徴量を用いた平常/非平常状態判定法の高度化, 電子情報通信学会技術研究報告. LOIS, IEICE technical report, Vol.109, No.205, pp.

91-96 (2009).
 2) Hirshfield, L.M., Solovey, E.T., Girouard, A., Kebinger, J., Jacob, R. J., Sassaroli, A. and Fantini, S.: Brain measurement for usability testing and adaptive interfaces: an example of uncovering syntactic workload with functional near infrared spectroscopy, *CHI '09*, pp.2185-2194 (2009).
 3) 清澤, 四方: 指尖血流脈波のゆらぎ解析による交感神経活動の評価とその応用, 金沢医科大学雑誌, Vol.31, No.3, pp.194-201 (2006-10).
 4) F., J.F.: Noninvasive infrared monitoring of cerebral, and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters, *Science*, Vol.198, pp.1264-1267 (1977).
 5) 濱中, 野村, 中園, 水澤: マウスを用いたストレス計測システムの開発と評価, 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, Vol.106, No.253, pp.69-72 (2006).
 6) Yokota: A system to measure the velocity of artery and finger pulse waves, *The bulletin of Kansai University of Health Sciences*, Vol.1, pp.46-51 (2007-03).
 7) Verkruyse, W., Svaasand, L.O. and Nelson, J.S.: Remote plethysmographic imaging using ambient light, *Opt. Express*, Vol.16, No.26, pp. 21434-21445 (2008).
 8) 鈴木, 岡田, 豊田, 笹田, 井口, 大井, 富田: 液晶バックライト用導光板の開発: 高輝度化, 低コスト化への取り組み, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.21, No.2, pp.67-72 (1997-01-22).
 9) Lucini, D., Norbiato, G., Clerici, M. and Pagani, M.: Hemodynamic and Autonomic Adjustments to Real Life Stress Conditions in Humans, *Hypertension*, Vol.39, No.1, pp.184-188 (2002).
 10) Kobayashi, T., Nishikido, N., Kageyama, T. and Kashiwazaki, H.: Sympathetic Predominance in Young Male White-Collar Workers with Mild to Moderate Hypertension, *Industrial Health*, Vol.39, No.2, pp.199-205 (2001).
 11) Barros, A. and Ohnishi, N.: Heart instantaneous frequency (HIF): an alternative approach to extract heart rate variability, *Biomedical Engineering, IEEE Trans.*, Vol. 48, pp. 850-855 (2001).
 12) Ebara, T., Kubo, T. and Inoue, T.: Effects of adjustable sit-stand VDT workstations on workers' musculoskeletal discomfort, alertness and performance, *Industrial health*, Vol. 46, No.5, pp.497-505 (2008-09).