

装着型実時間心拍提示デバイスの開発

下柿元 智也[†] 打田 恭平^{††} 鈴木 健嗣[†]

本研究では、不随意で、日常生活で自覚されにくい活動による信号を計測し提示することで、被計測者や観察者が知覚可能になり、新たなインタラクションを誘発する拡張生体メディア技術の提案を行う。ここでは、人の生体信号の一つである心拍を、光電脈波計により計測し、実時間で体表上での提示を可能にする、装着型光提示インタフェースの開発について報告する。また、このような生体信号の提示には情報の秘匿性も考慮する必要がある。そこで、可視光・不可視光による提示インタフェースの開発についても述べる。

Development of a Wearable Device for Real-time Heart Beat Display

TOMOYA SHIMOKAKIMOTO,[†] KYOHEI UCHIDA^{††} and KENJI SUZUKI[†]

This paper proposes a method to augment a human being by developing a photoplethysmography based wearable device to generate heart beat based light patterns with LEDs, in real-time. In the proposed method, heart beat signals, measured by a photoplethysmographic sensor, is processed and visualized by a wearable device. The device makes people aware of their heart beat by altering the LED brightness and color while preserving the properties of the original signal. Additionally, we propose a methodology to enhance privacy and information security by utilizing infrared based LEDs that can be read through infrared cameras only.

1. はじめに

現在、盛んに研究が行われている複合現実感¹⁾ 技術においては、HMD、嗅覚ディスプレイ²⁾ や触覚ディスプレイ³⁾ など人の五感を刺激するものや、仮想空間で五感を拡張するための関する研究が、多岐にわたって行われている。さらに、これらの技術を組み合わせ、マルチモーダルなヒューマンコンピュータインタラクションへ応用⁴⁾ する試みにより、複合現実感を実現する研究も行われている。しかしながら、複合現実感技術は人の五感の計測・提示を目的とした研究が多く、生体電位信号など、不随意でかつ本人自身も自覚しにくい情報を反映する技術はあまり多くない。しかしながら、生理信号には身体的、心理的な情報が含まれており、人と人とのインタラクションに十分応用可能であると考えられる。

生体信号計測の研究は、従来から診断等に用いられることを前提としており、計測の精度が重要視されて

いる。そのため、生体計測では拘束下で安静の状態での計測が一般的である。このような従来の計測方法から、無意識計測⁵⁾ 技術や運動中に計測した心拍波形からアーチファクトを除去する研究⁶⁾ など、日常生活下においても計測を可能にする研究が行われているが、これらの情報は計測後数値化処理され、被計測者へ数値情報としてフィードバックされる。この処理の時間差と数値化によって、被計測者自身が身体の状態を認識することは難しい。

そこで本稿では、日常生活において不随意で人が自身の活動を自覚しにくい生体情報を利用した拡張生体技術⁷⁾ において、これを実時間で現実世界で体表上に提示するメディア技術と融合させることで、被計測者や観察者が生体信号を通して、身体的、心理的な状態を認識する新たな人と人とのインタラクションを導くことを目指す。

本稿では生体信号の中でも最も基本的な指標である、心拍情報を対象とし、これを簡便にかつ実時間で、体表上に情報提示を行うことが可能な、新たな装着型実時間心拍提示デバイスを提案する。これは、従来の心拍数を提示するデバイスとは異なり、人が運動している場面においても、実時間で心拍の脈動の提示を体表上で提示したり、また情報の秘匿性を考慮した、可視

[†] 筑波大学 大学院システム情報工学研究科

Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

^{††} 筑波大学 工学システム学類

College of Engineering Systems, University of Tsukuba

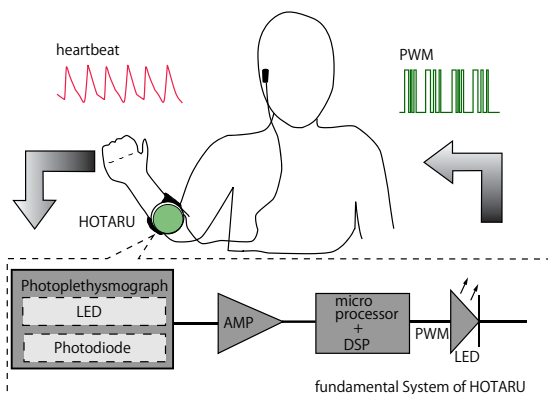


図 1 システムの概念図

光・不可視光による提示インタフェースの開発を通じ、心拍情報を知覚可能な拡張生体メディア技術の実現を目指す。

2. 提案手法

本研究では、心拍情報の提示による拡張生体メディア技術の実現を目指し、心拍提示手法を提案するとともに、心拍情報を、実時間で提示する装着型デバイス、HOTARU の開発を行う。図 1 に提案するデバイスの概念図を示す。これまで心拍情報の可視化は、主に心拍数や心電図といった数値や波形を用いた提示であるが、提案するデバイスでは、日常生活において自覚しにくい心拍を、実時間で光に変換し提示することで、デバイスの装着者、周辺の観察者にも情報を伝達することが可能となる。また、簡便に計測を行い、体表上で被計測者自身の心拍の情報提示が可能であることが重要であると考え、体に取り付けることのできる装着型のデバイスとする。さらに、このような生体信号の提示には情報の秘匿性も考慮する必要があると考え、情報の秘匿性が可能なデバイスの開発も行う。

3. システム構成

3.1 脈拍計測

心拍計測は、簡便にかつトレッドミルなどのスポーツ機器での心拍計測としても用いられる、運動下においても使用可能な光電脈波計測を行う。今回用いる光電脈波センサ（COMBI エアロバイク用イヤースンサー）は、クリップ状のセンサで耳に装着をすることで使用する。センサの付け外しは、心電計などが必要な、複数の電極や電極配置のための専門知識は必要が無く、簡便にすることができることが特徴である。さ

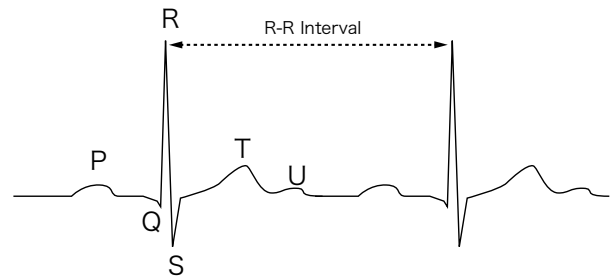


図 2 心電図波形

らに、計測した脈波信号は、アナログ回路による 1.5Hz のハイパスフィルタと、50Hz のノッチフィルタによるフィルタ処理と、OP アンプによる増幅を行い、10 ビット A/D 変換器を通して取得する。

3.2 信号処理の概要

センサから得られた脈波信号を、500Hz で 10 ビット A/D 変換器により取得し、その後、信号に含まれる基線揺れや交流ノイズなどのアーチファクトを除去するために信号処理を行う。まず、50Hz の商用電源ノイズを処理するために、移動平均フィルタ処理を行い、さらに、脈波信号においては安静時、運動時ともに基線揺れが生じるため、この揺れを除去するためにセンサ信号からオフセット値を概算し、除去する。

そして、商用電源ノイズと基線揺れを除去した脈波信号に対して、PWM 変調を行う。これにより、脈波信号を LED の輝度として表現することが可能になる。同時に、得られた脈波信号に対して、心拍数の計算を行う。心拍数は、R-R 間隔という指標により計算する。この方法は一般的な心拍数を計算する手法となっており、様々な心拍数提示デバイスにより用いられている。図 2 に示す通り、心臓の 1 回の拍動によって生成される心電図には P, Q, R, S, T, U の波があり、その中でも最も特徴的なピークを持つ部分が R 波とされ、その R 波の間隔をのことを R-R 間隔と呼ぶ。脈波信号にも R 波と同様の信号が現れるために、計測される信号のピークが最大となる間隔を計算することで、1 分間に拍動しているとされる心拍数を算出することができる。

3.3 装着型デバイスの設計

可視光・不可視光を用いた提示を実現する 2 種類の装着型デバイスの製作について述べる。

製作した可視光デバイスの外観を図 3 左に示す。今回は、装着が容易であり、かつ計測した心拍を体表上で提示する際、装着者も視認可能である腕（手首）部装着型とした。製作した装置は、70mm×70mm のサイズであり、内部に信号処理のためのマイクロプロセッサと、LED ディスプレイを実装した基板、及びリチ

装着型実時間心拍提示デバイスの開発

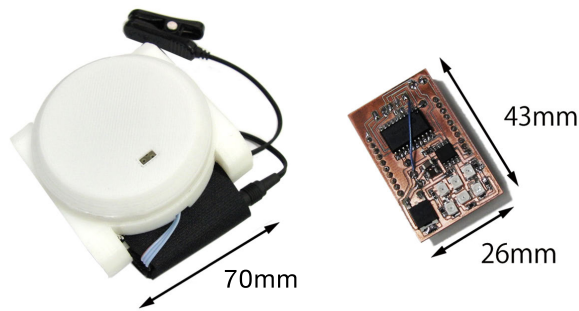


図 3 HOTARU デバイス (左・手首装着型可視光デバイス/右・不可視光デバイス (回路))

ウムイオン電池を格納している。また、脈波計測用のイヤースенса、腕部装着部分とステレオミニジャックにより接続する。

しかしながら、可視光では装着者の心拍が誰にでも見えるというセキュリティの問題や、装着者自身が脈拍の発光を見ることで、心拍に影響することが考えられる。そこで、HOTARU デバイスの発光を赤外発光にすることで、秘匿性を向上させた HOTARU 不可視光デバイスを作成した。作成した不可視光デバイスを、図 3 右に示す。この不可視光デバイスは、26mm×43mm と小型で無線通信モジュール Xbee (digi 社製) により通信をすることで、可視光デバイスと同様、体表のどこにでも装着できるデバイスとした。

3.4 心拍情報提示の概要

可視光デバイスのディスプレイは赤、青、緑の 3 色のカラー LED で構成され、信号処理によって、PWM に変調された脈波信号と R-R 間隔の 2 種類の情報を同時に実時間で LED のディスプレイを用いて提示を行う。なお、不可視光デバイスは、色表示はなく、発光輝度のみの変化を提示する。

このような心拍脈動の提示を実時間で行う表現として、脈波信号を LED の発光の輝度に割り当てることにより、心拍脈動の把握を容易にすることが可能である。しかし、運動中に、腕が上下動している場合には、装着者も観察者も提示されている心拍の拍動を観察することは難しい。そこで、心拍数は運動強度と関連があるため、心拍数に応じた色の変化によって運動を提示することを考えた。ここでは、信号処理によって計算された R-R 間隔に応じて、表示する色情報を変化させることとし、本デバイスにおいては、安静時が青、歩行時が緑、運動時が赤となるように定める。また、心拍の拍動は、LED の輝度に直接変換することで提示する。このため、脈波センサから得られた電圧値を輝度提示のような PWM 信号へ変調する必要がある。しかし、脈拍間隔は安静時でも 1Hz であり、R 波のピー

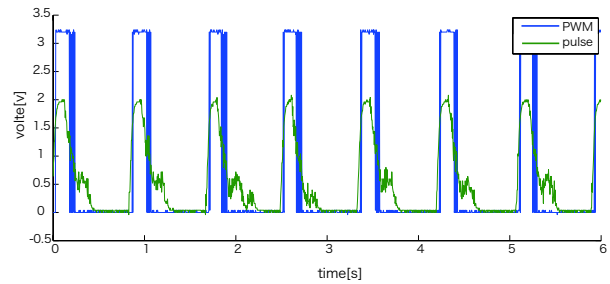


図 4 安静時の脈波と PWM 信号

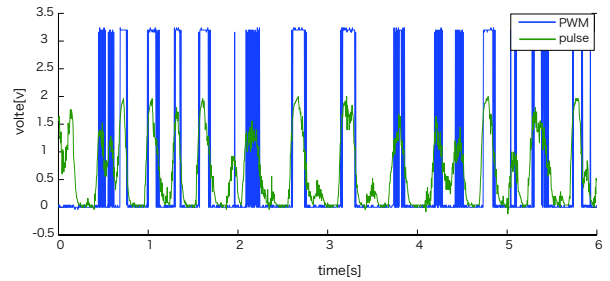


図 5 運動時の脈波と PWM 信号

クは瞬時的に観測されるため、R 波の後に観察される T 波などの影響から、そのまま PWM 変換を行ったとしても、拍動を知覚することは難しい。そこで、R 波の立ち上がりから立ち下がりのみを PWM 変調を行うこととする。

4. システム評価実験

4.1 可視光色提示デバイス

製作した可視光デバイスを装着し、その場駆け足を行った様子を図 6 に示す。左から、安静、歩行、運動時の様子を示す。

開発したデバイスは、実時間で心拍の拍動を提示することを目標としている。そこで脈波信号を実時間で PWM 変換し、かつ提示することが可能であるか、評価実験を行った。ここでは、安静時、運動時の波形を計測し、センサから計測される脈波に対して、信号の計測から、フィルタ処理・PWM 変換までの信号処理が、実時間で行われているかを検証する実験を行った。結果を図 4、5 に示す。

この結果から、安静時においては、脈波信号が正確に計測されることが示されただけでなく、脈波信号の立ち上がりの時点から PWM 変調が行われ、T 波中において変調されないことが確認された。一方、運動時においても計測した脈波信号も同様に、PWM 変調されて光提示を実現したが、計測された脈波信号には体動によるアーチファクトが混入しており、正しく脈拍が提示できていない場面も見られた。



図 6 HOTARU デバイス装着風景



図 7 赤外線カメラで撮影したデバイス

4.2 不可視光デバイス

製作した不可視光デバイスを装着し、発光した状態を赤外線カメラにより撮影した様子を図 7 に示す。R-R 間隔によって色を変化させることはできないが、心拍脈動を PWM 変調することで、輝度変化を生じさせている。発光を目視することは出来ないが、赤外線カメラを通すことで確認出来るため、心拍情報を選択的に提示することが可能であることを示した。

5. おわりに

本稿では、不随意で、日常生活で自覚されにくい活動による生理信号を計測しかつ体表上で提示する技術を通じ、生理信号を被計測者や観察者が知覚可能になり、新たなインタラクシオンを誘発する拡張生体メディア技術について報告した。ここでは、生体電位信号の中でも最も基本的な指標である心拍情報を対象とし、体表上に実時間で情報提示を行うことが可能な、装着型実時間心拍提示デバイスを開発を行った。

脈波信号の PWM への変調と脈波の R-R 間隔の算出により、LED の輝度による提示と R-R 間隔に応じた色を提示することが可能な可視光色提示デバイスと、情報の秘匿性を考慮し、心拍を赤外光により提示することで秘匿性を向上させ、無線デバイス化を同時に行った不可視光無線デバイスの 2 種類の装着型デバイスの開発について述べた。このように、実時間にて適切な PWM 変調を実現することにより、体表上にお

いて心拍の実時間提示が可能であることを確認した。しかしながら、PWM の変調の評価実験から、運動時において脈波信号に体動によるアーチファクトが混入し、正しく拍動を計測出来ていなかった場面もあったことがわかった。

今後は運動時において、ノイズとともに計測された脈波信号から、正確に脈波を抽出するため、体動を計測する加速度センサと組み合わせて、運動時でも頑健に心拍情報を取得・提示するための研究を行っている。また、光だけではなく音響によるフィードバックによる拡張生体メディア技術についても検討を行いたい。

参 考 文 献

- 1) 田村秀行, 大田友一, 複合現実感, 映像情報メディア学会誌, Vol.52, No.3, pp. 266-272(1998)
- 2) 廣瀬通孝, 谷川智洋, 嗅覚ディスプレイに関する研究, 日本バーチャルリアリティ学会第 2 回大会論文集, pp.155-158(1997)
- 3) 梶本裕之, 川上直樹, 前田太郎, 舘ススム, 皮膚感覚神経を選択的に刺激する電気触覚ディスプレイ, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J84-D-II, No. 1, pp. 120-128(2001)
- 4) 穴吹まほろ, 山本裕之, 田村秀行, 擬人化エージェントを利用した複合現実空間でのインタラクシオン, 情報処理学会インタラクシオン 2000 シンポジウム (2000)
- 5) 山越憲一, 無侵襲, 無拘束, そして無意識計測へ, 精密工学会誌, Vol. 62, No. 11, pp. 1525-1529(1996)
- 6) 今井文吾, 塩澤成弘, 牧川方昭, 光電脈波計測における加速度センサを用いた体動アーチファクトの除去, 生体医工学, Vol. 44, No.1, pp. 148-155(2006)
- 7) 五十嵐 直人, 鈴木 健嗣, 河本 浩明, 山海 嘉之, bioLights: 着用型光提示インタフェースによる下肢筋活動の可視化, 第 15 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 576-579(2010)