

取り巻きセンサシステムによる人の体動の生理的意味理解

西田佳史* 森武俊** 佐藤知正** 平井成興*

*電子技術総合研究所 **東京大学先端科学技術研究センター

Understanding of Physiological Status through Monitoring Human Body Movement
by Environing Sensing System

Yoshifumi NISHIDA*, Taketoshi MORI**, Tomomasa SATO** and Sigeoki HIRAI*

*Electrotechnical Laboratory, **RCAST, The Univ. of Tokyo

This paper describes a new method of understanding human physiological status through unrestrainedly monitoring his or her body movement by an environing sensing system. The new method consists of the function of inferring physiological values (ex. tidal volume) from sensor signal, and the function of continuously monitoring of the sensor signal relating to target physiological values. This paper also proposes a "hierarchical human model" which consists of physiological layer and physical layer; These layers realizes the above functions respectively. The experimental result proved the effectiveness of the proposed method.

Keywords: Non-invasive Unrestrained Monitoring, Behavior Understanding, Sensor Fusion, Sleep Apnea Syndrome Diagnosis

1 緒論

機械による人間行動の理解機能によって、無拘束計測による生体情報獲得が可能となるが、特に、病室で用いられる医用計測手段の対人親和化や、在宅での長時間計測による健康管理支援への応用が期待できる。本研究では、居住環境をセンサ化し、環境センサを用いた行動観察によって、人の生理的状态を理解するシステム構築を目的としている。本稿では、自然な形をした環境それ自体が、生活環境で発現する自然な行動を無侵襲・無拘束観察する「環境システム」として構築した「取り巻きセンサシステム」について述べ、構築したシステムを用いて観察された行動から人の状態に関する生理的な意味を理解する手法として、「階層的人間モデル」を提案し、実験により提案手法の有効性を検証する。

2 取り巻きセンサ構成に基づく環境システム

2.1 取り巻きセンサ構成

日常定型行動の特徴：人は日常生活において毎日、ある決まった行動をとる。以下、日常生活において繰り返される行動を「日常定型行動」と呼ぶ。このような日常定型行動は、以下の3つの特徴を持つ。1) 時間的規則性：定期的に繰り返されるものが多い。(例)睡眠、食事、排泄、入浴、2) 空間的規則性：ある特定の場所で発生することが多い。(例)寝室、台所、トイレ、風呂場。3) 使用機器規則性：ある特定の機器を必要とすることが多い。(例)ベッド、布団、便器、入浴槽。

取り巻きセンサ構成：筆者らは、これまでに人間行動観察システムの構成法として「取り巻きセンサ構成」を提案してきた。取り巻きセンサ構成は、日常定型行動の発生場所分析を行ない、発生場所分析に基づいて環境をセンサ化する、その際、環境の形の維持し、居住性を確保できる場所を探すことで、環境にセンサをうまく埋め込むセンサ構成法であり、日常定型行動に基づいて環境をセンサ化することにより、無拘束計測を実現する点に特徴がある。

取り巻きセンサ構成の利点：上述の日常定型行動を利用した取り巻きセンサ構成の利点は以下のように整理される。1) 環境にセンサを設置し、人とセンサは分離されているので、無拘束な計測である。2) 普段行なっている日常定型行動から生理情報を無拘束に収集するこ

とができるので、計測のための意識的行動を必要としない。3) 日常定型行動の時間的規則性より、定期的な生体情報が採集が可能である。4) 日常定型行動の空間的規則性、使用機器規則性から環境を局所的にセンサ化することができ、効率の良い情報の採集が可能である。

2.2 取り巻きセンサ構成に基づく行動観察システム

本論文では、Fig. 1に示すような取り巻きセンサ構成に基づいてシステムを構築した。日常定型行動の中で最も長く計測が可能である睡眠中の体動¹を取り上げ、これを観察するためのベッド型の行動観察システムを開発した。システムの特徴は、人の睡眠中の体動を観察するための圧力センサ、視覚センサが、人の居住性が損なわれないように、天井内部、ベッド内部に埋め込まれている点にある。視覚部は CCD カメラ 5 基、照明 4 基からなっており天井部に埋め込まれている。圧覚部は圧力分布測定シート(221個の圧力センサからなる)、圧力センサコントローラからなる。視覚部は主に呼吸の計測に用いられ、圧覚部は主に体位の認識を行ない、体位認識に基づいて呼吸の計測のための視線制御を行なうために用いられる。



図 1: 取り巻きセンサシステム

3 階層的人間モデル

3.1 取り巻きセンサシステムによる生理量理解の必要機能

1) 間接計測に基づく生理量推定機能：測定したい生理量を人の内部までセンサを侵襲させて計測する侵襲計測と異なり、無侵襲・無拘束計測ではセンサで計測でき

¹本稿では、物を掴むなどの作業的な行動ではなく、生理的な活動として発現される体の動きを表すための用語として用い、寝がえりなどの全身の運動を伴う粗大な動きだけでなく、呼吸にともなう体の微小な動きなども含めるものとする。

る体表での物理量から人の内部の生理量を推定する機能が必要がある。

2) 生理量推定のための体動連続計測機能 : a) 測定場所維持機能:カメラでの観察の場合には、所望の生理量を含む体動を計測するために視線を身体座標に基づいてその都度適切に制御する機能. b) センサ座標・身体座標の対応機能:現在の計測場所が身体の場所のどの部分に対応するかを推定する機能. c) センサ選択機能:ある特定のセンサだけでは、計測が困難な場合は、他のセンサを切替えることで、頑健で高精度な連続計測を保證する機能.

3.2 階層的人間モデルの提案

本研究では、上述の必要機能を可能とする階層的人間モデルを提案する。階層的人間モデルの特徴は、身体座標とセンサ座標の座標変換を行い、計測された体動から抽出された物理量から各種生理量導出アルゴリズムを用いて基本的生理量を推定する物理層と基本的生理量を用いて疾患などのより上位の生理的状态を記述した生理層からなっている。

物理層・生理層からなる階層性によって得られる利点として、1) 低レベルなセンサ信号やその処理などとは独立した、生理量に基づくプログラミングを可能とする点、すなわち、生理量のレベルでの処理の体系化を可能とする点、2) 生理量指向な処理を可能とする点、3) センサ拡張性に優れている点などがあげられる。

3.3 階層的人間モデルの睡眠時無呼吸症候群診断への適用

睡眠時無呼吸症候群診断のための階層的人間モデル: 本論文では、睡眠時無呼吸症候群診断をとりあげ、人の睡眠中の呼吸運動の観察に基づいて換気量などの生理量を推定することを例題として階層的人間モデルを構成した。

物理層: 圧力分布測定部からの圧力画像情報をもとに、ベッド上での人の位置、姿勢を計算する¹⁾。圧力座標と身体座標をもとに、胸部・腹部の呼吸に伴う動きを計測するための適切な場所を選択し、カメラの視線を制御する。また、胸部・腹部からのカメラ画像を画像処理することで、胸部・腹部の動きを測定し、基本生理量を計算する。生理層: 物理層で計算された基本物理量に基づいて、呼吸数、呼吸換気量を計測、推定する²⁾。呼吸換気量の推定から睡眠時無呼吸症候群などの疾患の診断が可能となる。

システムは、ルーム座標系(絶対座標)、圧力画像座標系、視覚画像座標系、身体座標系(図2参照)を備え、カメラで計測したい身体部位をルーム座標で導出し、カメラのパンチルト台を制御することで視線を制御する。身体座標は、円筒座標系を用いて定義された皮膚座標からなる。皮膚上の点を (x, y, z) とおき、体軸方向を z 軸とし、式(1)のように定義した。関数 r は、体軸に垂直な切断面上における体軸から皮膚までの距離を表す関数である。

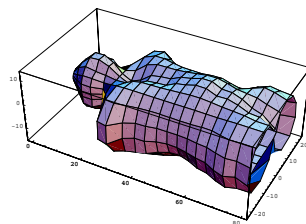


図 2: 身体座標系

$$(x, y, z) = (r(z, \theta) * \cos(\theta), r(z, \theta) * \sin(\theta), z) \quad (1)$$

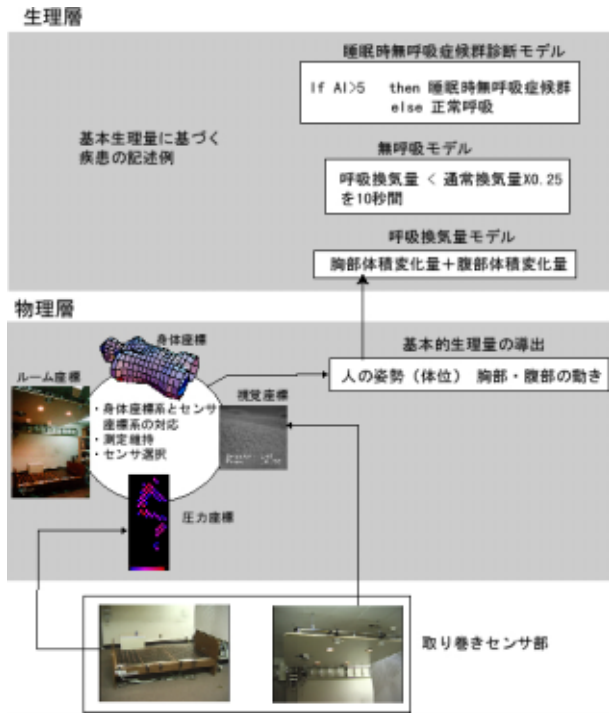


図 3: 階層的人間モデル

表 1: 視覚・圧覚統合による呼吸連続計測実験

被験者	A	B	C
計測時間 [時間]	6.0	6.0	6.0
寝がえり回数 [回]	14	12	11
測定可能時間率 [%]	86	91	73

連続計測実験: ベッド上での人の体位を判断し、適切に視線を呼吸の検出できる場所にあわせることで、視覚による呼吸換気量計測の連続性を保障する機能を実現した。表1に健常者3名(成人男性)を対象に行なったSAS診断に必要な生理量の6時間自動計測の結果を示す。測定可能時間率は計測時間6時間に対する呼吸検出が可能であった時間の割合を示している。いずれも10回以上の寝がえりに対して視線を適切に制御することには成功したが、測定可能時間率はばらつきがあり7割程度の低い場合もあった。

4 結論

本論文では、1) 無拘束に観察された行動から生理的意味を解釈するための行動理解モデル、階層的人間モデルを提案した。2) 取り巻きセンサ構成に基づいて睡眠中の人の行動を観察するシステムとして、天井部分に視覚センサを、ベッドに圧力センサを埋め込んだシステムを構築した。3) 提案した行動理解モデルに基づき、具体的に睡眠時無呼吸症候群診断システムを構築することで、手法の有効性を検証した。

参考文献: 1) 西田, 武田, 森, 溝口, 佐藤: "圧力センサによる睡眠中の呼吸・体位の無侵襲・無拘束な計測", 日本ロボット学会誌, Vol. 16, No. 5, pp705-711, 1998, 2) 西田, 森, 溝口, 佐藤: "視覚情報による睡眠時無呼吸症候群診断手法", 日本ロボット学会誌, Vol. 16, No.2, pp274-281, 1998