

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01781

研究課題名(和文) ストレス・情動の可視化評価に関する研究

研究課題名(英文) A study on visualization of stress and emotion and development of stress-evaluation system

研究代表者

横山 道央 (Yokoyama, Michio)

山形大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：40261573

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では健康管理支援システムの基礎開発を行い、(1)交感/副交感神経系活動の指標とされる従来の解析法を発展させ、ストレスとリラックスのバランス状態を表示できる新しい散布図を考案した。さらに睡眠時に着目し、非拘束生体計測データを取得・収集するセンサシステムを実現、起床後の睡眠満足度アンケート結果とあわせたデータ解析から睡眠を評価する手法を考案した。また、小型センサシステム実現に向け、超低消費電力回路設計を適用した。(2)非接触のセンサシステムを用いて生体データを取得し、データ解析により睡眠状態を予測し睡眠満足度との関連性を評価する手法を考案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間の健康管理を機器の方から積極的に支援するシステムの開発を目指し、普段の何気ない動作の最中に、測定を意識させる事なく生体計測が行えるセンサシステムと、日常の体調データと環境データを基に解析し、健康管理・ストレス管理およびその支援ができるような解析評価技術を開発し、ベッドに眠るだけで入眠/目覚めを支援するセンサーベッドシステムの基盤技術を構築した。超高齢化社会に突入する我が国において社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：The visualization and evaluation systems for human stress and/or emotion have been developed under investigating three viewpoints such as:(1)IoT sensor module for sleep sensing, (2)low-power design of CMOS logic circuits for signal processing system, (3)autonomic nervous system(ANS) evaluation index for visualization of stress/relax state. It is found that the compact IoT sensing system is effective for evaluating human ANS condition in his daily and sleeping lifetime.

研究分野：半導体電子工学

キーワード：生体センシング データ解析 自律神経系 低消費電力回路設計

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

健康長寿社会を迎え、心身の健康状態を把握・管理するため、普段の生活中で測定を意識する事なく生体計測を行い、日常の体調データを基に健康管理・ストレス管理ができるシステムの開発が望まれている。ストレス指標に関しては、心拍ゆらぎの周波数解析から、自律神経系における交感/副交感神経系活動指標としてLF/HF成分やHF成分が用いられている。副交感神経系活動指標であるHF成分を横軸に、交感神経系活動指標であるLF/HF成分を縦軸にとった散布図によって、副交感優位(リラックス)か交感優位(ストレス)かが可視化できる。

ここで、交感神経系と副交感神経系は互いに拮抗してはたらくと考えられてきたが、それぞれが独立してはたらくという報告がある(文献)。つまり交感・副交感神経がともにバランス良く亢進するウェルバランス状態もあり得るという事であるが、従来の散布図ではHF成分は交感/副交感神経活動の両方に含まれるため、ウェルバランス状態は表示できず、ストレス優位かリラックス優位か、または中立状態しか表示できなかった。

(図1)

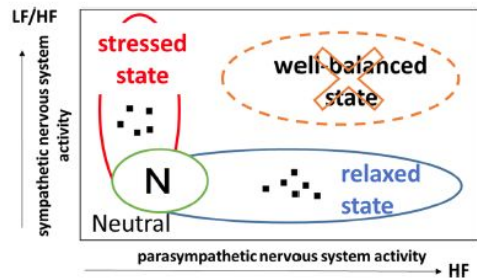


図1 従来散布図

2. 研究の目的

本研究では、ヒトの健康管理を機器の方から積極的に支援するシステムの開発を目指し、普段の何気ない動作の最中に生体計測を行える小型センサモジュールと、取得した日常の体調データを基に健康管理・ストレス管理、健康促進の支援ができるシステムの開発を目指した。具体的には、次の3つの項目について研究開発をおこなった。

- (1) ストレス指標としての、交感/副交感神経系の亢進によるストレス/リラックス/ウェルバランス状態を表示する新散布図の提案。
- (2) シリコン断熱的論理回路技術を用いた信号処理回路の小型低消費電力化設計と検証。
- (3) 小型IoTセンサモジュールを用いた生体・環境データの取得と、データ解析によるストレス状態の評価検証と睡眠状態の評価。

以上により、ストレス状態の可視化解析から積極的に日常生活でのストレス緩和を促すシステムの基盤構築を目指した。

3. 研究の方法

(1) ストレス状態を可視化し評価する指標として、交感/副交感神経系のそれぞれの亢進を表す新しい軸を用いた散布図を考案した。従来手法では心拍間隔を離散的に算出した上で三次スプライン補間を用いて連続波形とした後に周波数解析をし、LF/HF成分(以下、ストレス成分という)やHF成分(以下、リラックス成分)を算出していた。本研究では取得した光電容積脈波波形を直接周波数解析にかけた上で算出した高調波成分(H1)を用いて交感神経活動指標軸とし、また副交感神経指標として知られているローレンツプロットを用いた指標(Sn)を用いて副交感神経活動指標軸とした新しい散布図を考案した。

(図2)

検証実験をおこない、新散布図を用いる事で、従来散布図では表せなかったウェルバランス状態がプロットされ得る事を確認した。

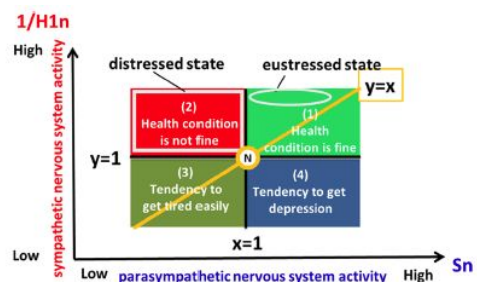


図2 新提案散布図

(2) 小型IoTセンサモジュール実装に向けた信号処理部シリコンCMOS論理回路の低消費電力設計を、断熱的論理技術を用いておこなった。従来パルス幅変調(PWM)回路を構成する論理回路に断熱的論理回路設計を適用した上で、0.18 μmルール標準CMOSモデルを用いた回路シミュレーションをおこない、その低消費電力回路特性を評価した。

(3) 一日のうちで疲労回復など心身の健康に重要な位置付けをもつ睡眠に着目し、非接触センサモジュールを寝具に装備したセンシングベッドを用いて生体データおよび環境データを取得した。翌朝睡眠満足度アンケート結果と合わせたデータ解析により、睡眠に関して入眠/覚醒支援および睡眠満足度向上への寄与の高い因子について考察した。

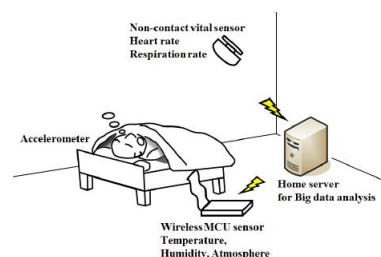


図3 実験概要図

睡眠中の生体データとして体動・心拍・呼吸データを用い、市販センサによる翌朝覚醒時刻を学習させる深層学習により、覚醒時刻の予測システムを構築した。また、翌朝睡眠満足度と睡眠中の生体データからの LF や HF 成分との相関を解析した。重回帰分析により睡眠中の睡眠満足度を生体データ群から推定し、その推定値と LF/HF や HF 成分との関連をあらわす散布図を新たに考案し、睡眠満足度とストレス/リラククス成分との関連を可視化し評価する手法を提案した。

4. 研究成果

(1) ストレスやリラククスそしてウェルバランス状態を可視化する新しい散布図を次のように策定した。まず交感神経指標には、脈波波形の直接周波数解析から得られる 1 Hz 付近を中心とする周波数スペクトルのパワー密度 (PSD) を H1 として、これを全体の平均値で正規化した H1n を算出した。この H1n という指標は、交感神経の亢進に際して減少する傾向があることが知られている。(図 4) そこで、本研究においては 1/H1n を交感神経指標とした。次に、副交感神経指標であるが、副交感神経系活動との相関が知られている、心拍(脈拍)のローレンツプロットにおいて描かれる楕円の縦横径比: S に着目し、この S を正規化した Sn を採用した。図 2 に示した新散布図の概念においては、右上の領域がウェルバランス状態を表すと考えられる。

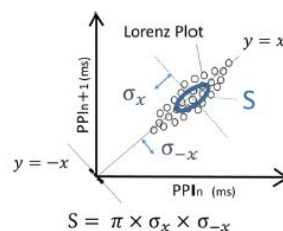


図 4 H1n と Sn

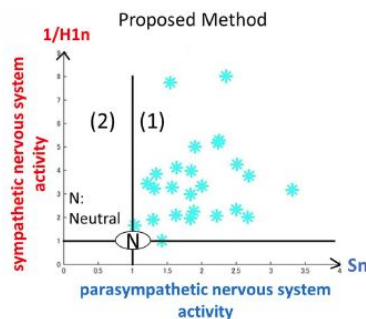
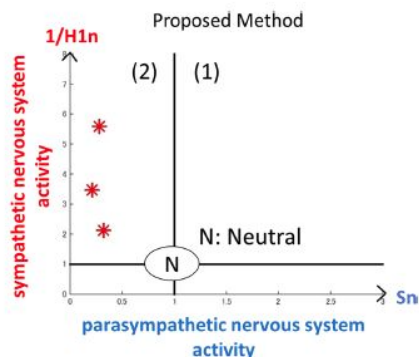


図 5 新散布図検証実験 (左: ストレス実験、右: ウェルバランス/リラククス実験)

次に、実際に指尖光電脈波センサを用いた実験により被験者のストレス/リラククス状態に対応させた散布図のプロット結果を図 5 に示す。短時間冷水に手を浸漬するストレス状態と穏やかな音楽を視聴する状態とでは、新散布図におけるプロット領域がそれぞれ図の左上側と右上側とに分かれる事が確認できた。以上により、新散布図の有効性が示された。

(2) 小型 IoT センサモジュール実装に向けた信号処理部シリコン CMOS 論理回路の低消費電力設計を、断熱的論理回路技術 (ADCL) を用いておこなった。デジタル 3 ~ 7 ビット PWM 回路を、コンディショナルフリップフロップ (FF) 回路を用いた新しい ADCL 回路にて設計し、0.18 μm ルール標準 CMOS モデルを用いた回路シミュレーションをおこない、従来 CMOS 論理回路、ADCL 論理回路と消費電力を比較した。その結果、7 ビット PWM ではコンディショナル FF 適用 ADCL 回路の場合、従来 CMOS 回路に対して 75%、ADCL のみ適用回路に対しても 35% の消費電力削減が可能である事が示された。(図 6) 今後は、IoT センサモジュールの信号処理回路全体の設計に適用していく予定である。

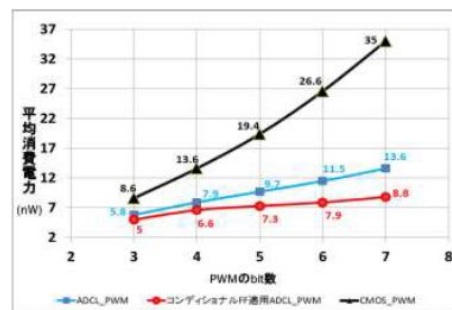


図 6

(3) 一日のうちで特に睡眠に着目し、非接触センサモジュールを寝具に装備したセンシングベッドを用いて生体データおよび環境データを取得した。まず、心拍・呼吸・体動という生体信号から、その人の入眠や覚醒に関わる情報を拾い出し、就床中から入眠予兆、そして入眠中から覚醒予兆をとらえるシステムを構築した。非接触センサにより心拍と呼吸を、マットレス下の圧力センサにより体動を計測し、就床から翌朝起床までの 106 晩分のデータと、既存のセンサによる入眠・覚醒判別時刻を学習させ、6 層のディープニューラルネットワーク (DNN) を用いて推定した。図 7 に覚醒および入眠に関する生体信号データが

らのDNN予測値と正解との比較を示す。約10分以内の誤差で予測できている事が確認された。今後は個人カスタマイズを含めた予測精度の向上と、DNN予測に合わせた寝具などの設備環境による目覚めから起床までの支援システムへと展開していく必要がある。

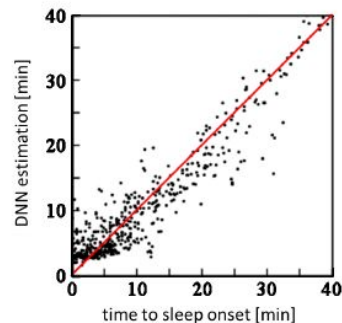
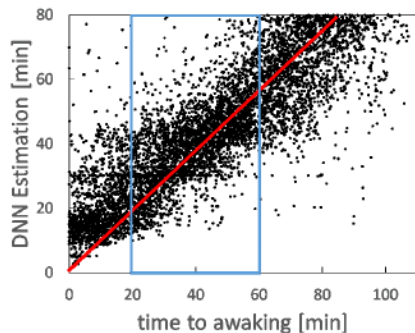


図7 DNN推定結果と誤差（左：覚醒、右：入眠）

次に、翌朝睡眠満足度五段階アンケート結果と合わせたデータ解析により、睡眠満足度向上への寄与の高い因子について考察した。生体信号データのうち、自律神経系活動指標であるストレス成分やリラックス成分に着目し、翌朝睡眠満足度と各種生体信号パラメータから回帰分析により睡眠中の満足度を推定したものの相関を解析した。リラックス成分とストレス成分を合成して横軸に、推定満足度を縦軸にとる新たな散布図を考案し、リラックス成分の増加と推定満足度の上昇、ストレス成分と推定満足度の下降とが関連しているかを実際にプロットして検証した。(図8) その結果、推定睡眠満足度3以下の場合に比較して3以上の部分で、リラックス成分が平均値以上であるプロット点数が多く、逆にストレス成分平均値以上であるプロット点数は、推定満足度が3以下の部分の方が3以上の部分より点数が多いという事が確認できた。

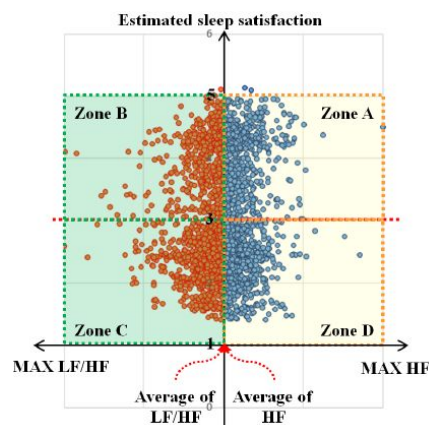


図8 睡眠満足度とストレス/リラックス成分の散布図

睡眠中の生体信号計測とそのリアルタイム解析により、現在の睡眠状態のままでは翌朝の満足度が下降すると予測される場合、寝具や環境パラメータを改善しより快適な目覚めを支援するシステムの基盤技術が構築できたと考えている。

以上の成果により、ベッドに入り寝るだけで、計測を意識させる事なく、その人のストレス/リラックス状態と覚醒予兆を解析し、よりスムーズな目覚めと起床を支援するセンサベッドシステムの開発につながる事が期待される。日中の行動については、スマートウォッチなどウェアラブルデバイスを用いて活動度などを取得する事ができる。これらと合わせて、一日じゅう行動を非拘束でモニターしてデータ取得・解析し、次の睡眠/覚醒を支援するトータルシステムへと発展させていく必要がある。

<引用文献>

G.G.Berntson J.T.Cacioppo and K.S.Quigley: Cardiac Psychophysiology and Autonomic Space in Humans: Empirical Perspectives and Conceptual Implications, Psychological Bulletin, 114, pp.296-322(1993).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Cho Seung-II, Negishi Takumi, Tsuchiya Minami, Yasuda Muneki, Yokoyama Michio	4. 巻 18
2. 論文標題 Estimation System of Blood Pressure Variation with Photoplethysmography Signals Using Multiple Regression Analysis and Neural Network	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 INTERNATIONAL JOURNAL of FUZZY LOGIC and INTELLIGENT SYSTEMS	6. 最初と最後の頁 229 ~ 236
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5391/IJFIS.2018.18.4.229	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsuchiya Minami, Yokoyama Michio	4. 巻 24
2. 論文標題 A simple method for evaluating the balance of the autonomic nervous system using photoplethysmography	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Microsystem Technologies	6. 最初と最後の頁 691 ~ 698
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00542-017-3388-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Cho Seung-II, Yokoyama Michio	4. 巻 145
2. 論文標題 Low-power Design of Adiabatic Dynamic CMOS Logic using Parasitic Capacitance of 0.18 μ m Standard CMOS Model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Advanced Science and Technology Letters	6. 最初と最後の頁 142-145
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Seung-II Cho, Muneki Yasuda, Minami Tsuchiya, Tomochika Harada, Atsushi Tanaka, Michio Yokoyama
2. 発表標題 Estimation of Correlation between Multiple Parameters and Sleep Satisfaction Using Deep Neural Network for Pleasant Sleeping Support System
3. 学会等名 ISCA 31th International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Minami Tsuchiya, Atsushi Tanaka, Muneki Yasuda, Tomochika Harada, Seung-II Cho and Michio Yokoyama
2. 発表標題 Estimation of Awakening Time Using a Deep Neural Network with Physiological Data During Sleep
3. 学会等名 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 遠藤守彦,松本 翔,趙 勝一,横山道央
2. 発表標題 断熱的論理回路技術を用いたクロック制御PWM回路の低消費電力設計
3. 学会等名 電気学会 電子回路研究会 ECT-018-005
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Minami Tsuchiya, Atsushi Tanaka, Muneki Yasuda, Tomochika Harada and Michio Yokoyama
2. 発表標題 Evaluation of Sleep Quality Based on Environmental and Vital Sensor Signals using Big Data Analysis and Deep Learning
3. 学会等名 The 2017 Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications(NOLTA 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Seung-II Cho, Takumi Negishi, Muneki Yasuda, Michio Yokoyama
2. 発表標題 Estimation System of Blood Pressure Variation with Photo-Plethysmograph Signals using Neural Network
3. 学会等名 ISCA 30th International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering(CAINE 2017). (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

山形大学大学院理工学研究科横山研究室ホームページ
<http://ceyoko.yz.yamagata-u.ac.jp/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----