

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12817

研究課題名(和文) 時間相関イメージング法に基づく任意環境下の舌粘膜高精度多次元記録法の提案

研究課題名(英文) Proposal of high precision multidimensional measurement of tongue mucosa under arbitrary environment based on time-domain correlation imaging method

研究代表者

中口 俊哉 (Nakaguchi, Toshiya)

千葉大学・フロンティア医工学センター・教授

研究者番号：20361412

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：舌表面の分光画像・立体形状・時間変化の計測を同時に実現する「5次元イメージング法」を提案し、照明光源の変調により周囲光源環境の影響を除外した撮影システムを実現した。照度差ステレオ法を用いて舌表面の微小な凹凸を検出するため照明配置を最適化した。計測の信頼性を考慮した形状の法線算出手法を開発した。舌形状計測精度の評価用ファントムを作成し評価した結果、0.2mmまでの凹凸を検出できることを確認した。舌表面の分光特性を記録するため、複数の波長光源を組み合わせたマルチバンド撮影法を検討した。舌表面分光画像を収集して解析した結果、舌表面の色変化を顕著に反映する4つの主波長を特定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、体調の変化が顕著に現れる「舌」に注目している。消化器系疾患と舌色の直接的な関連は多数報告されていることや、疲労やストレス、体内水分量、代謝不全、脈管系の不良など疾患に至る前の健康状態も舌の状態変化に表れることが知られているため、本研究成果を活用して日常生活での舌の色や形を継続的に記録することで、発病予防が期待できる。本技術は周囲環境の影響を除外した安定計測を目指しており、将来は家庭での健康モニタリングの実現に貢献できると考えている。

研究成果の概要(英文)：This study proposed a "5D imaging method" that simultaneously realizes spectroscopic images of the tongue surface, three-dimensional shape, and measurement of time variation, and realized an imaging system that excludes the influence of the ambient light source environment by modulating the illumination source. The lighting arrangement was optimized to detect minute irregularities on the tongue surface using the photometric stereo method. A method to calculate the normal of the shape was developed considering the reliability of the measurement. A phantom model was created to evaluate the accuracy of tongue shape measurement, and it was confirmed that the tongue shape could be detected as small as 0.2mm. To record the spectral characteristics of the tongue surface, a multi-band imaging method was investigated. As a result of collecting and analyzing the tongue surface spectral images, we identified four main wavelengths that significantly reflect the color change of the tongue surface.

研究分野：医用画像処理

キーワード：舌診断支援 分光計測 形状計測

1. 研究開始当初の背景

疾患を早期または未然に防ぐため医療機関における診断能の向上や健康状態の管理、また超高齢社会の到来にむけて在宅医療の必要性が高まっている。特に簡便で質の高い生体計測と診断支援システムの実現が急務である。本研究は、表在する最大の粘膜臓器である「舌」に注目する。舌は全身の鏡と呼ばれ、体調の変化が舌の色・大きさ・形状の変化として表れる。過去の研究成果から消化器系疾患と舌色の直接的な関連は多数報告されていることから、舌色の正確な記録により診断支援の実現が期待されている。また、疲労やストレス、体内水分量、代謝不全、脈管系の不良など疾患に至る前の健康状態も舌の状態変化に表れることが知られている。つまり、日常生活での舌の色や形を継続的に記録することで、発病予防に期待が高まっている。しかしながら、舌は固定が困難であるため正確な色彩の記録ができないことや、挺舌(舌を出すこと)中の状態変化が大きいこと、舌本来の色を特定することが困難であること、周囲環境の影響を除外した安定計測には専用のシステムを要するため、家庭での健康モニタリングには適さない、といった課題があった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、学術的背景にある舌計測の課題を解決するため、舌表面の分光画像・立体形状・時間変化の計測を同時に実現する「5次元イメージング法」を提案し、照明光源の変調により周囲光源環境の影響を除外した撮影システムを実現することである。時間相関イメージング法に基づく新しい撮影ハードウェアの開発、並びに記録データから環境光と物体の反射光を分離し、物体の反射光から分光情報と形状情報を分離計測するアルゴリズムの構築を目指す。

3. 研究の方法

本研究は舌粘膜を非接触的かつ高精度多次元的に記録・解析する新しい手法を提案し、時間相関イメージング法の多重化により立体形状・分光特性・時系列変化の多種尺度を単一システムで同時的かつ瞬時に非接触計測する5次元イメージング法を構築する。また、光源を変調することにより周囲光源環境の影響を除外し、任意の位置・姿勢における舌粘膜記録の課題を解決する。

4. 研究成果

(1) 時間相関イメージング法に基づいた撮影システムの開発に着手した。時間相関センサはリコーエレメックス社 DC12 を選定した。複数の光源を駆動制御する光源駆動回路、時間相関センサと光源をハードウェアレベルで同期する回路を本研究で独自に開発し、イメージングデータの取得と全体制御は高速演算ワークステーションで行う計画であったが、後の進捗状況で報告するとおり、予算の問題から光源設計は次年度に見送ることとなった。入手した時間相関センサの制御システムの設計を行った。メイン PC とイメージセンサの間に、ハードウェア制御用のマイコンを配置して、リアルタイムで安定した制御を実現した。

(2) 光源の最適配置を決定するためのソフトウェアシミュレータを構築した。一般物体での検証から開始して、舌の光沢除去、立体形状計測に最適な撮影条件をソフトウェアシミュレータを用いて検討した。

(3) 本研究で用いる照度差ステレオ法は、観測方向が固定で、光源方向の異なる3枚以上の画像の陰影から物体表面の法線を算出する手法である。照度差ステレオ法の最大の特徴は、撮影された画像の画素単位で法線を推定可能であるため、空間的に高分解能な形状推定が可能な点である。本研究では、舌形状に関する所見の1つである裂紋に着目する。裂紋は、舌体に表れる微細な形状特徴である。そのため、本研究では、照度差ステレオ法による計測を提案した。最適な光源配置をシミュレーション実験によって検討した結果、8方向以上で安定して高い精度が得られることが判明した。そこで照明方向8方向と4種類の波長の光源を同時に記録できる照明を開発した。照明はカメラレンズの周囲に45度ずつ回転するように配置した。

(4) 時間相関イメージング法に基づいて空間軸、色彩軸、時間軸の5次元尺度記録を単一システムで実現する5次元イメージング法とその制御ソフトウェアを実装した。本研究では、法線算出方法に IRF(Inter-Relationship Function)と TPR(Truncated Photometric Ratio Approach)を導入した。IRFとは各画像から得られた輝度値から信頼性の高い輝度値を選択する手法で、影領域などの外れ値を除去できる。TPRとは、信頼性の低い方程式の除去を行う法線算出方法で、輝度値では判別できない外れ値を除去できる。提案手法による三次元形状計測精度を検証した結

果，0.2mm までの凹凸を検出できることを確認した。

(5) 5次元イメージング法で撮影した3次元形状と分光画像の計測精度評価を実施した。舌形状を模した剛体の評価用ファントムを準備し，設計情報を正解値として立体形状計測と分光記録の客観性能評価を実施した。また，シリコン材料を用いた柔軟な舌形状ファントムを作成し，経時的形状変化の計測精度と動きのある条件下での分光計測精度を評価した。

(6) 5次元イメージング法による分光画像記録は複数の波長光源を組み合わせたマルチバンド撮影が基本となるため舌表面粘膜の分光特性を代表する波長を特定する必要がある。そこで波長選定の基礎データとして，高精度ハイパースペクトルカメラを用いた舌表面の分光画像サンプルを収集した。ハイパースペクトルカメラによる撮影では対象を固定する必要があるため，研究代表者が発案した舌固定補助装置を活用した撮影システムを利用した。健常者20名より各5回，計100サンプルの舌表面分光画像を収集した。

(7) 収集した舌表面の分光画像基礎データセットから舌の分光的特徴を解析し，5次元イメージング法で用いる波長の選定を行った。同一被験者から複数回のサンプルを実施することで，個体間差と個体内変動を分離して解析した。多変量分析に基づく分光特性解析を行い舌粘膜の状態と高い関連を持ち，その変化を顕著に反映する4つの主波長を特定した。

(8) 以上の研究により得られた舌の撮影条件を総合し，5次元イメージング法を用いた撮影システムを構築した。撮影装置は医療現場でも利用できるように可搬型に設計した。ソフトウェアは専門知識が不要で，誰でも撮影操作ができるようユーザビリティを向上させた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4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 Qichao Tang, Tingxiao Yang, Yuichiro Yoshimura, Takao Namiki, Toshiya Nakaguchi	4. 巻 25
2. 論文標題 Learning-based Tongue detection for automatic tongue color diagnosis system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 363-369
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10015-020-00623-5	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 Gou Nambu, Takao Namiki, Toshiya Nakaguchi, Toshiyuki Tanaka	4. 巻 20(1)
2. 論文標題 Extraction of tongue coating area from tongue image for automated tongue diagnosis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Ergonomic Technology	6. 最初と最後の頁 1-9
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 -
1. 著者名 Tingxiao Yang, Yuichiro Yoshimura, Akira Morita, Takao Namiki, Toshiya Nakaguchi	4. 巻 -
2. 論文標題 Synergistic attention U-Net for sublingual vein segmentation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the International Society of Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10015-019-00547-9	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 Tingxiao Yang, Yuichiro Yoshimura, Akira Morita, Takao Namiki, Toshiya Nakaguchi	4. 巻 E102-A
2. 論文標題 Pyramid Predictive Attention Network for Medical Image Segmentation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 1225-1234
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8件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Toshiya Nakaguchi
2. 発表標題 Imaging and Analysis of Tongue Picture for Healthcare
3. 学会等名 2019 International Symposium on InfoComm and Media Technology in Bio-Medical and Healthcare Application (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 唐啓超, Tingxiao Yang, 吉村裕一郎, 長谷川豊, 森康久仁, 須鎗弘樹, 並木隆雄, 中口俊哉
2. 発表標題 舌診断支援システムの自動化に向けた舌検出と領域抽出の検討
3. 学会等名 第38回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 唐啓超, ヤン テイショウ, 吉村裕一郎, 並木隆雄, 中口俊哉
2. 発表標題 深層学習を用いた顔写真からの挺舌検出
3. 学会等名 電子情報通信学会技術報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中口俊哉
2. 発表標題 舌の画像的解析による生体状態予測の取り組み
3. 学会等名 第6回デジタル生体医用画像の「色」シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川堅也, 野口桂冴, 吉村裕一郎, 渡邊悠紀, 並木隆雄, 中口俊哉
2. 発表標題 照度差ステレオ法における撮影・法線算出条件の検討による舌の裂紋検出システムの構築
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野口桂冴, 齋藤一郎, 吉村裕一郎, 並木隆雄, 渡邊悠紀, 中口俊哉
2. 発表標題 舌画像解析によるシェーグレン症候群の診断支援
3. 学会等名 第4回舌診研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川堅也, 渡邊悠紀, 吉村裕一郎, 並木隆雄, 中口俊哉
2. 発表標題 舌の形状解析に基づく裂紋検出の基礎検討
3. 学会等名 第4回舌診研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野口桂冴, 齋藤一郎, 吉村裕一郎, 並木隆雄, 渡邊悠紀, 中口俊哉
2. 発表標題 口腔診断支援のための舌の色特徴に基づく機械学習を用いた疾患予測
3. 学会等名 第40回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------