

マルチスリット光投影による呼吸計測システム Respiration Monitoring System with Multiple Slits Light Projection Using Fiber Grating Optical Elements

青木 広宙† 竹村 安弘‡ 味村 一弘‡ 中島 真人†
Hirooki Aoki Yasuhiro Takemura Kazuhiro Mimura Masato Nakajima

1. まえがき

近年、様々な病気を未然に防ぎ健康的な生活を送るために、日常的なバイタルサインの計測により健康管理を行うことが有用であると考えられており、対象者にとって拘束性が低く、また、簡便に実施可能な計測手法の開発が求められている。医療の現場では、発症を原因として患者が様々な呼吸異常を呈することが知られており、“呼吸”は人の健康状態を知る上で重要なバイタルサインのひとつとして認識されている。

そこで、われわれは、アクティブな3次元計測手法の一つであるファイバーグレーティング(FG)視覚センサを呼吸計測に応用する方法に関して研究を行ってきた^[1]。われわれは、老人保健施設においてフィールドテストを実施しており、開発したシステムが高齢者の就寝時における呼吸異常や睡眠障害の把握に有用であると考えている^[2]。

従来のFG視覚センサにおいては、空間に多数の輝点を投影していたが、光学素子に改良を加えることで複数のマルチスリット光を投影する方法を提案する。これにより、密な距離情報の算出が可能となり、高い感度での呼吸計測が実現できるものと考えた。

本研究では、マルチスリット光投影による呼吸計測システムを新たに提案し、また、オリフィス流量計による実際の呼吸流量の計測を、本システムによる呼吸計測と同時に実施し、本手法の有効性について検討した。

2. 手法

2.1 ファイバーグレーティング視覚センサ

FG光学素子は、直径数十 μm の光ファイバーを平板状に並べた2枚の光ファイバー・シートを、互いの光ファイバーの軸方向が直交するように固定して構成される位相分布型回折格子である^[3]。このFG光学素子に対し、垂直にレーザー光を入射することにより、対向する平面上には多数の輝点群が照射される。このとき、FG光学素子に隣接して設置されたCCDカメラには、正方格子状の並んだ輝点群が撮像される。そして、平面とFG光学素子の間に物体がある場合には、その物体上に投影される輝点は、三角測量の原理に基づき、CCDカメラのイメージプレーン上で一定方向にシフトする。イメージプレーン上における各輝点のシフト量は、物体の形状によって決まることから、各輝点のシフト量の分布を測定することにより、物体の大きな形状情報が算出される。

2.2 スリット光投影方法

前述の通り、FG視覚センサは、複数の輝点を対象物体に投影し、輝点の空間的な位相差を調べることで、空間的に離散した物体の形状情報を取得するものである。位相がシフトする方向は、CCDカメラとFG光学素子とLDからなる輝点投影器とを結んだ方向(基線方向)であるから、基線方向に対して垂直な方向に輝点が密であれば、より詳細な形状情報を取得できるものと考えられる。そこで、われわれは、FG光学素子を用いて、マルチスリット光を投影する方法を、新たに考案した。

この方法においては、3枚の光ファイバー・シートを用いることで、マルチスリット光の投影が実現される(図1)。すなわち、互いの光ファイバーの方向が直交するように固定された2枚の光ファイバー・シートの前方に、更に、もう1枚の光ファイバー・シートを配置すると、この3枚目のシートが、2枚目までの光ファイバー・シートにより生成される正方格子状に配列した輝点を入射光とする回折格子として作用する。このとき、この3枚目のシートをわずかに光軸に対して回転することで、3枚目のシートにおける光ファイバーの軸方向に輝点が密集し、複数本のスリット光が投影される。

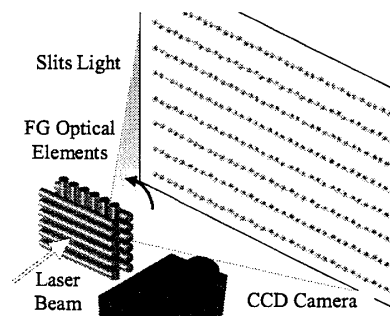


図1 投影されるマルチスリット光

2.3 呼吸計測システムの構成

われわれが開発した呼吸計測システムでは、以上で説明したマルチスリット光投影方法を用いて、就寝者の呼吸をモニターする。就寝中における呼吸による寝具のわずかな上下動を、投影されるマルチスリット光の座標の変化より検知する。

図2は、実際に試作した計測システムの構成である。FGによるマルチスリット光投影器とCCDカメラを、一列に配置する。マルチスリット光投影器のレーザー光源には、波長804nmの赤外光半導体レーザーが用いられる。CCDカメラのレンズ部には、赤外光透過バンドパスフィルター(透過帯域812nm)が組み込まれている。レーザーは、パ

†慶應義塾大学理工学部電子工学科

‡住友大阪セメント株式会社新規技術研究所

ルス幅 0.1m 秒のパルスレーザーとし、レーザーの発光タイミングと CCD のシャッターとの同期をとることで、外乱光の影響が軽減され、鮮明なスリット光の画像を取得される。図 3 に、実際に人が寝ている状態において取得されたマルチスリット光画像を示す。

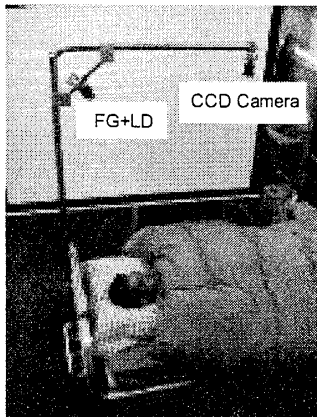


図2 計測システムにおけるセンサの配置

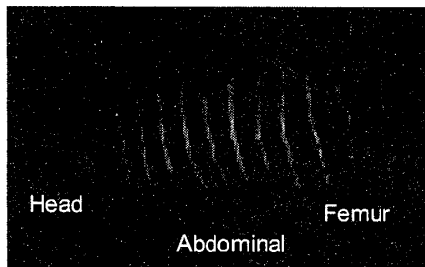


図3 取得されるマルチスリット光画像

2.4 呼吸計測方法

三角測量の原理により、スリット光のシフト量は物体の高さ方向の変化と関係をもっている。したがって、就寝者の呼吸により、就寝者や掛け布団の形状が変化する。輝点の投影される高さが変化することで、画像に撮影されるスリット光の座標も時々刻々と変化する。

ある時刻 t のフレームにおけるマルチスリット光の座標が、続く時刻 $t+1$ のフレームにおいてどれだけシフトしたかを算出し、輝点のシフト量を時系列に並べると、就寝者が安静な状態においては、周期的な波形が得られる。

3. 実験

本手法の有効性を示すため、呼吸計測システムを作製し、実験を行った。処理装置部を構成する PC の仕様は、CPU: Intel PENTIUM4 2GHz, Memory: 512MB である。画像取得間隔は 1 フレームにつき 0.25 秒とした。取得される画像サイズは 640×480 ピクセルで、1 フレームあたりの処理時間は、約 0.1 秒であった。

被験者 10 人 (20 代男性) を対象として、本手法によりマルチスリット光のフレーム間でのシフト量を求め、呼吸波形を作成した。これと同時に、被験者の口鼻部にオリフィス流量計 (アクリル製、管径 60mm, 絞径 10mm, 管長 300mm, 端部より 150mm の位置にオリフィス板を配置) を装着し、実際の呼吸流量を測定した。

オリフィス流量計で得られる測定値の波形 (測定値は、差圧トランスデューサの出力電圧値) および本手法による呼吸波形を図 4 に示す。

本手法による呼吸波形とオリフィス流量計で得られる測定値の波形との相関関数を次式により算出した。

$$y_j = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \left\{ \frac{x_k - \bar{x}}{\sigma_x} \right\} \left\{ \frac{u_{k+j} - \bar{u}}{\sigma_u} \right\} \quad (1)$$

このとき、本システムによる呼吸波形を入力波形 x とし、オリフィス流量計による波形を参照波形 u とした。また、用いたデータ数 N は、256 とした。その結果、全てのデータに関して、 $j=1$ のときに最大値を示した。相関関数の最大値は、いずれの場合も、0.9 以上の高い数値を示しており、本手法による測定結果は、実際の呼吸の流量を正確に反映しているものと考えられる。

4. まとめ

FG 光学素子を用いて、就寝者の腹部にマルチスリット光を投影し、その動きを画像から追跡することで、就寝者の呼吸を非接触で計測する手法を新たに提案し、その有効性について検討した。オリフィス流量計を被験者の口鼻部に装着し、実際の呼吸流量波形と、本手法による波形とを比較した結果、高い相関が得られ、本手法による計測結果は、実際の呼吸を正確に反映しているものと考えられる。

また、われわれが提案する FG 光学素子によるマルチスリット光投影方法は、小型の投影器により実現可能であることが大きな特徴であり、呼吸計測以外にも、様々な応用が期待できるものと考えている。

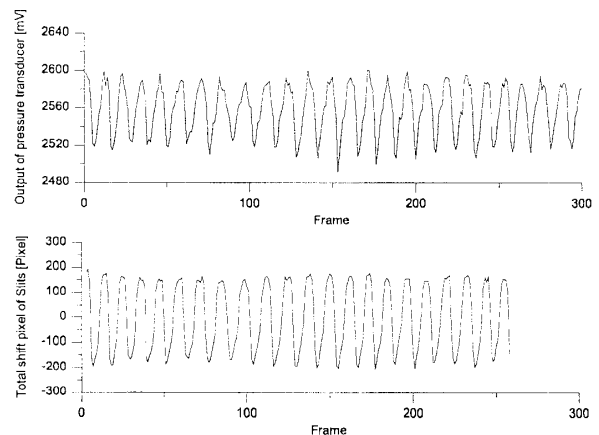


図4 オリフィス流量計による測定値の波形 (上) と本手法による呼吸波形 (下)

文献

- [1] 青木広宙, 竹村安弘, 味村一弘, 中島真人: "FG 視覚センサを用いた就寝者の呼吸計測に関する検討", 2001 年情報システムソサイエティ大会講演論文集, pp.320-321, 2001
- [2] 青木他: "非接触・無拘束条件下における呼吸計測用ベッドサイドモニターの開発—高齢者に対する終夜計測における有用性—", 第 41 回日本エムイー学会大会講演論文集, p.148, 2002
- [3] 中沢和夫, 中島真人, 小林寛: "ファイバーグレイティングを用いた 3 次元形状計測システムの開発", 電子通信学会論文誌 D, Vol. J69-A, No.12, pp.1929-1935, 1986