

令和 2 年 4 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13762

研究課題名(和文)透明キューブの回転時の屈折を利用した帰還動作不要な画像スキャニング手法の提案

研究課題名(英文)Motion-blur-compensated imaging system using a rotating acrylic cube

研究代表者

早川 智彦 (Hayakawa, Tomohiko)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教

研究者番号：10747843

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：モーションブラーを補償する手法は、これまで多数提案されている。その一つとして、本研究ではモーションブラーの大きな場面でも用いることができ、高いサンプリングレートで撮影が可能であるスネルの法則を利用した透明回転キューブを用いる補償手法を提案する。回転速度と対象の移動速度が同期することで、モーションブラーを生じさせずに撮像することができるだけでなく、キューブの特性を生かして90°回転毎に撮像画角がリセットされ、従来研究で見られるミラーの往復動作による時間的なロスを生じさせない。本手法を高速に回転するベルトコンベアに適用したところ、時速12km相当でも静止時と遜色ない画像を取得できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、スネルの法則により、アクリルキューブの中を通過する光軸が入射する角度によって平行移動する現象を利用し、キューブを回転させることにより、帰還動作を必要とせずに、対象物体が止まっていることと等価な撮像を連続的に可能とする装置を提案した。また実験により、モーションブラーが補償されることを確認した。このことにより、点検等の画像の精度が要求されるタスクに対し、効率よく撮影を行うことが可能となった。

研究成果の概要(英文)：Many methods have been proposed to compensate motion blur. As one of them, this study proposes a compensation method using a transparent rotating cube using Snell's law, which can be used even in a scene with large motion blur and can shoot at a high sampling rate. By synchronizing the rotation speed and the moving speed of the object, it is possible not only to capture images without causing motion blur, but also to reset the imaging angle of view every 90° rotation by taking advantage of the characteristics of the cube. The feature is that no time loss is caused by the reciprocating movement of the mirror that can be seen. When this method was applied to a belt conveyor rotating at high speed, it was confirmed that images equivalent to those at rest could be acquired even at a speed of 12 km / h.

研究分野：補償光学

キーワード：モーションブラー スネルの法則 補償光学 アクリルキューブ 点検 高速移動

1. 研究開始当初の背景

交通インフラや回路基板といった対象の劣化や初期不良を高精度かつ高効率に点検することで、インフラの安全性の向上や製造コストの圧縮が可能となるため、高速に移動しながら対象を撮像する技術が重要な研究課題となっている。高速移動環境下では、撮像時にモーションブラーが生じることが特に問題となる。これまで、強力な照明と短い露光時間で鮮明な画像を得る手法は走行型点検車両等に用いられてきたが、対向車の脇見運転等を誘発する可能性があり、また、回路基板といった対象においては強力な照明による熱膨張で点検精度の低下が生じていた。このような背景のもと、これまで露光時間中にガルバノミラーの往復回転運動によって撮像対象の追従をし、露光時間を延ばした撮像を可能とすることで、高速移動環境下でも鮮明な画像を得る手法が研究されてきた。結果、露光時間を数十倍改善したことで時速 100km から 0.2mm のひび割れを見つける技術[1]が確立された。一方で、壁面の点検など連続的に撮像対象が変化する状況では、次の撮像のために光軸の帰還動作(図 1)が必要であり、帰還動作に要求される急激な加速度の増大に対処するため、追従性能や露光時間が犠牲となり、画像の撮像精度や効率の低下を招いていた。

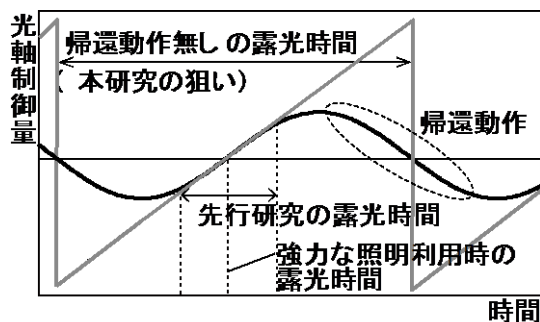


図 1 手法毎の露光時間

2. 研究の目的

本研究では、高精度と高効率を両立する帰還動作を必要としない画像スキャニング手法の確立を本研究の目的とする。具体的に、図 2 のように光軸上で透明な立方体を回転させることで、スネルの法則に基づく入射角と立方体の厚みと屈折率による出射光の位置変化を利用し、スキャニングを行うことを計画する。この手法の特色として、立方体の性質上 90° 毎に入射角がリセットされるため、帰還動作を必要としないことを特徴とする。

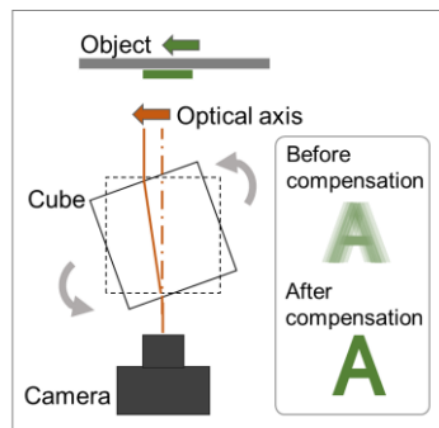


図 2 回転キューブによるモーションブラー補償

また、本手法は光の屈折を利用して光軸制御を行うため、対象までの距離が離れても制御精度が一定であることを特徴とする。

3. 研究の方法

本研究では、帰還動作を必要としない画像スキャニング手法の確立を目的とする。具体的には、図 2 のように、空気とは異なる屈折率の透明な立方体を回転させ、光軸を水平に移動させることによりスキャニングを行う。ここで撮像対象の撮像面はセンサ像面と平行に存在することを前提とする。

また、光軸の速度とキューブの回転速度に対する定式化を行うことで、制御すべき光軸の速度、すなわちキューブの回転速度を導出可能である。従って、撮像対象の速度が判明しているとき、キューブの回転速度を制御することで対象の速度を打ち消すような光軸の速度制御を行うことが可能である。撮像対象とカメラとの相対速度を0に近づけることで、モーションブラーの少ない画像を得ることができる。

さらに、レンズ系を用いて必要なキューブの回転速度を下げることにより、高速な撮像対象に対応可能な手法についても提案する。図3に示すように、対象とキューブの間に凸レンズ1を入れることで、キューブの位置での対象の見かけの大きさと速度が小さくなるため、必要な回転速度を抑えることができる。また、カメラで撮像される像が小さい場合は、キューブとカメラの間に凸レンズ2を挟むことで再び対象を大きくみせ、解像度の低下を防ぐことができる。

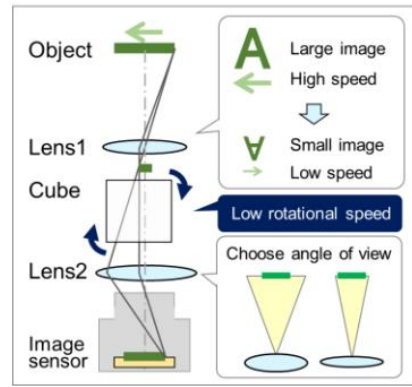


図3 レンズを用いた回転速度低下手法

4. 研究成果

実験にはアクリルのキューブを用い、対象の速度は3.0km/h、対象とキューブの距離は400mm、対象とキューブ間のレンズの焦点距離は80mmとした。本装置による補償なしでアクリルキューブ越しにベルトコンベヤー上を移動している対象を撮像した画像が図4(b)であり、回転したキューブによる補償を行って撮像した画像を図4(c)、(d)に示す[2]。またキューブ越しに撮像対象が静止している状態の画像が図4(a)である。これらの画像は得られた画像の縞模様の部分だけトリミングしたものである。画像上で定性的に比較することにより、補償前より補償後の方がモーションブラーが少ないこともわかった。また、対象が静止した状態の画像と補償した画像は遜色ない撮像結果であった。

得られた画像を定量的に比較するため、縞模様における画素値の変化をプロファイルとして、図5に示す。この際、各画像の縞模様の中心の画素値を用いた。結果として、補償前の画像はどの位置においても画素値の上下の振幅が他の二つの画像に比べて小さいものであった。一方、補償後の画像と対象が静止した画像は縞模様の幅が大きい場所において画素値には軽微な差しか存在しないが、縞模様の幅が小さくなるにつれて、静止した画像の方が画素値の上下の振幅が大きいことがわかる。これはキューブの回転によるカメラの光軸の移動速度と、対象の縞模様の移動速度が完全に一致しないため、補償後

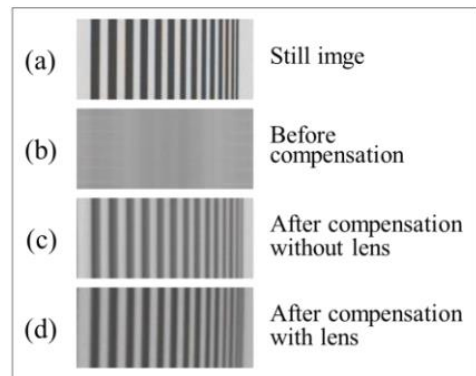


図4 各撮影手法を比較した結果

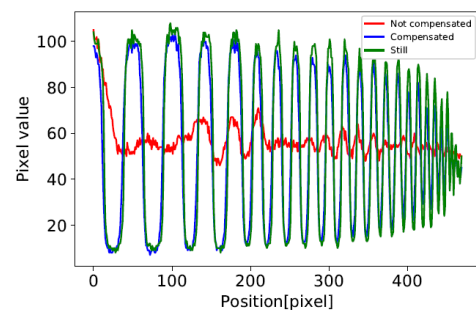


図5 各撮影手法で得られた画像のプロファイル

の画像においても微小なモーションブラーが発生していると推測される。

加えて、レンズ系を用いない図 4(c) の場合キューブの回転速度は 2000deg/s 必要であったが、レンズ系を用いた図 4(d) の場合は 500deg/s であった[3]。図 4(d) の画像は図 4(c) の画像に劣らないことから、同程度の画像を低い回転速度で取得できることが確かめられた。また、レンズの数を増やすことやキューブと対象の距離を大きくすることで、より回転速度を下げるができるため、車載カメラをはじめとする、より高速な移動物体にまで応用先を広げることができる。それだけでなく、顕微鏡への応用を念頭に置き、同様の実験を行ったところ、図 6 に示すように本手法による補償が有効だと確認された[4]。それ以外の本研究の応用として、高速移動環境下でも露光時間を長く確保できることから、強力な照明を必要とせずに脇見運転を誘発しない走行型点検車両の開発や、熱膨張を引き起こさない回路の点検システムの開発が期待される。

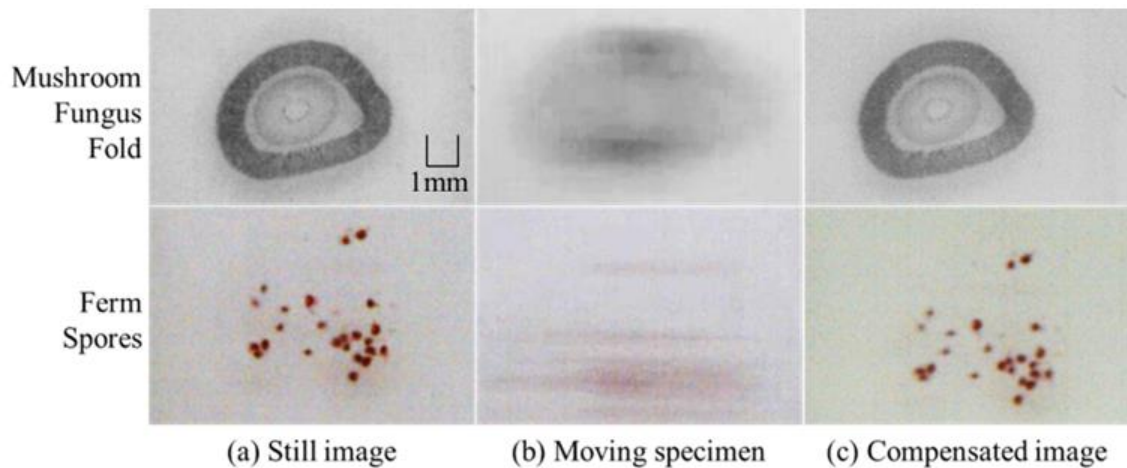


図 6 本手法を生物サンプルに対して適用した結果

<引用文献>

- [1] Tomohiko Hayakawa, Yushi Moko, Kenta Morishita and Masatoshi Ishikawa, "Pixel-Wise Deblurring Imaging System Based on Active Vision for Structural Health Monitoring at a Speed of 100 km/h," 2017 The 10th International Conference on Machine Vision(Vienna, Austria, 2017.11.14)/ (Oral Session)
- [2] 門脇拓也, 早川智彦, 石川正俊: 回転アクリルキューブによる光軸制御を用いたモーションブラー補償システム, 第 19 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2018), (大阪, 2018.12.15), 講演論文集, pp. 3105 -- 3107 (2018)
- [3] 中根悠, 早川智彦, 門脇拓也, 石川正俊: レンズ系を用いたアクリルキューブ回転モーションブラー補償システムにおける高速移動対象への対応, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会 講演予稿集 (2019 北海道大学 札幌キャンパス), 01-035.
- [4] T. Hayakawa, T. Kadowaki, H. Tochioka, M. Ishikawa, "Motion-Blur-Compensated Microscopic Imaging System by Controlling the Optical Axis Using a Rotating Acrylic Cube", Focus on Microscopy 2019 (London, 2019.4.16)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 門脇拓也
2. 発表標題 回転アクリルキューブによる光軸制御を用いたモーションブラー補償システム
3. 学会等名 第19回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomohiko Hayakawa
2. 発表標題 MOTION-BLUR-COMPENSATED MICROSCOPIC IMAGING SYSTEM BY CONTROLLING THE OPTICAL AXIS USING A ROTATING ACRYLIC CUBE
3. 学会等名 Focus on Microscopy 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中根悠
2. 発表標題 レンズ系を用いたアクリルキューブ回転モーションブラー補償システムにおける高速移動対象への対応
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019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
---------------------------	-----------------------	----