

視野が重ならない複数カメラに対するレーザ光線とその反射光によるキャリブレーション法

西村隆之[†]ファンクション工房[†]

1. はじめに

レーザ光線と平面鏡によるその反射光を用いて重複視野のない 2 台の固定カメラの相対姿勢（位置と方向）を算出する手法を提案する．まず，チェスボードに装着固定させたレーザポインタから発するレーザ光を，固定した平面鏡に反射させそのボードに投射し戻す．そのチェスボードを 1 台のカメラで観測することによりチェスボードの座標系におけるレーザ光を発するレーザポインタの方向と鏡の姿勢の両方を同時に推定する．次に，新たに発射するレーザ光をこの固定したままの平面鏡に再び反射させ今度は別のもう一枚のチェスボードに投射し，そのボード上の受信点を別のもう一つのカメラで撮影観測する．以上の方法により，2 台のカメラの視野は関連付けられ，カメラ間の相対姿勢が算出できる．この提案法は車体の前方と後方のような反対向きに設置した 2 台のカメラや監視用などで設置場所が離れた位置に対峙するカメラ同士の相対姿勢算出に適用できるものである．

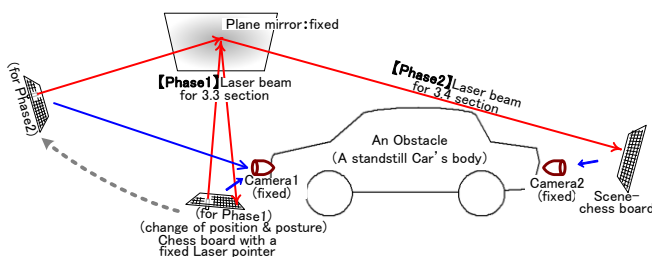


図1 運転手の視点を補助するシステム

2. 関連研究

重複視野のないカメラ同士に適用できるキャリブレーション方法は、これまで主に以下の 6 つの体系に分類できるが、レーザ光の軌道の直線性と、平面鏡の垂直反射面による軌道を迂回させる計算が簡素化できる二つの特長を同時に生かした方法は無く、本方式が初めてである．

- (a) レーザ距離測定機器に基づく方法
- (b) 鏡に基づく視野拡張による方法

Calibration of nonoverlapping view positions with Laser beams and their Reflections

[†]Takavuki Nishimura, Function Lab.

- (c) 動きからの構造モデルに基づく方法
- (d) 補助マーカと支援カメラに基づく方法
- (e) レーザ投射に基づく方法
- (f) 大規模な複数ターゲットに基づく方法

3. レーザ光線の直線性

レーザ光線の投射点の位置は距離が離れる割に位置の特定精度は上がる．それを図 2 で示す．

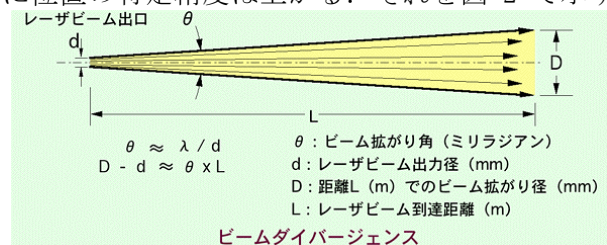


図2 [2]

ここで， λ ：レーザの発振波長である．例えば， $L=5\text{m}$ で， $\lambda=500\text{nm}$ の場合，最適なレーザビーム出力径 $d \approx 15.8\text{mm}$ ，その時，ビームの広がり $D \approx 16.4\text{mm}$ であり，レーザ光線が広がらず，ほぼ直線であることが分かる．

4. レーザポインタと鏡の相対姿勢推定

図1のカメラ1側のチェスボードに装着のレーザポインタから鏡にレーザ光を投射し，その反射光をもう一つのチェスボードで受け，それをカメラ2で画像化することにより，両方のカメラ撮影で同期を取った画像が取得できる．しか

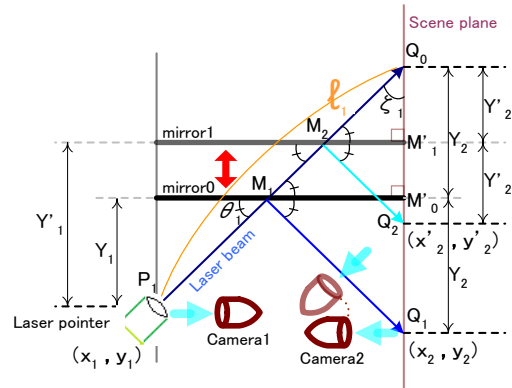


図3

しながら，この方法によりたとえレーザ光の経路長が認識できても，鏡(反射)の姿勢とレーザ光の投射位置を推定できない問題がある(図3)．

その対策として、図 4 にレーザポインタと鏡の姿勢を推定する解決方法の全体図を示す。チェスボード上のレーザポインタ P_k から発射したレーザ光を固定鏡に反射させた後、その反射光を同じチェスボード上の点 A_k に投射させ、その 2 点を同一画像内に収まるよう固定カメラ 1 で撮影する。点 C_k 及び B_k は、それぞれ平面鏡の特徴による、点 A_k の虚像点であり、及び図 4 姿勢推定の全体図での点 A_k と点 C_k の中点である。

これらの関係を単純な逆問題として捉え、以下の関数 $f_1(a, b, c, \theta^{\text{board}})$ を最小化するための最適化により a, b, c と θ^{board} を算出した。

$$f_1(a, b, c, \theta^{\text{board}}) = \sum_{k=1}^m ((C_k - P_k) \cdot h_k - |C_k - P_k| \cos \theta^{\text{board}})^2$$

ここで、 a, b, c は平面鏡を表す平面方程式の係数及び θ^{board} はレーザポインタのチェスボード上の傾きを表す。

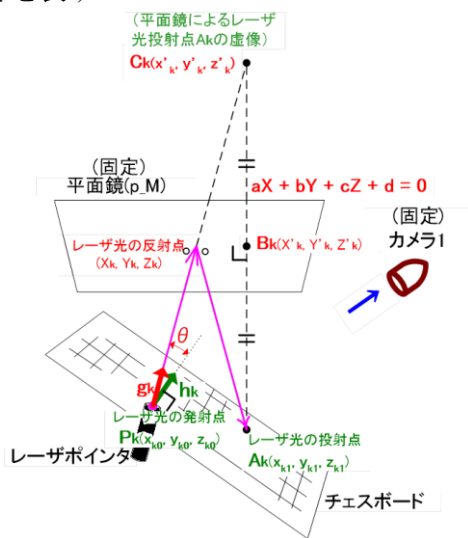


図 4

5. カメラ間の相対姿勢推定

以上の結果から、平面鏡の姿勢を利用し、視野が重ならない 2 台のカメラ間の相対姿勢を算出する (図 5)。

左下のカメラ 1 (Camera1) が捉えているチェスボードから発したレーザ光は、固定鏡 (mirror0) に反射してチェスボード 2 に投射する。しかし、カメラ 2 でチェスボード 2 上のどこにレーザ光が投射されたかは認識できるが、そのレーザ光がどの角度でチェスボード 2 に投射されたかは認識できない。そこで、1 点だけで観測するのではなく、レーザ光の投射角度を少しずつ変えた 2 点で観測する。この微小なずらしにより投影光がどのようにずれるかを観測すれば、どのような方向から投射されたものかが分かる。さらに、その微小なずらしを、ずらし方向と同じ方向に角度を変更した部分においても実施すれば連続する 4 点の投影光位置が得られる。図 5 では、鏡に映っている虚像で仮想的に表現して

いる。4 点の投射光位置が分かれば、図のように投射光を受けるチェスボード 2 と光源を結ぶ垂線 V からの角度 θ が $\tan$ 関数を用いて知ることができる。また、カメラ 1 から認識するチェスボード 2 の平面へのレーザ光の投射角度が分かり、距離も算出でき、それを 3 次元処理すれば、チェスボード 2 の立体的な相対姿勢が推定できることになる。一方、カメラ 2 からチェスボード 2 は撮影したチェスボードの解析により既に相対姿勢が推定できているので、結局、カメラ 2 側の固定されたチェスボードを仲介することで、カメラ 1 とカメラ 2 の相対姿勢が推定できる。

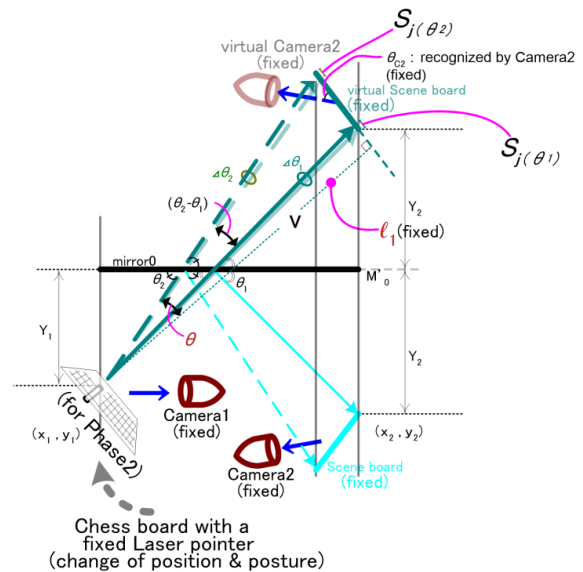


図 5

6. まとめ・今後の予定

「チェスボードに固定したレーザポインタから発するレーザ光線を固定した平面鏡に反射させ別の一枚のチェスボードに投射する」過程を繰返し、その都度、重複視野のない 2 台の固定カメラでそれぞれのチェスボードを撮影観測することにより 2 台のカメラの相対姿勢を算出できることを確認した。今後は、反射させる平面鏡を複数にすることにより、固定しない平面鏡に制約を緩めても、それぞれ重複視野のない複数の固定カメラ同士の相対姿勢が算出できる方法の開発を予定する。

参考文献

- [1] 鄒武合, 李仕剛, “レーザポインタを用いた視野の重ならない車載カメラの相対姿勢の算出,” 信学論 (D), vol. J97-D, no. 11, pp. 1651-1659, Nov. 2014.
- [2] 光と光の記録 --- レーザ編, 2019.01.21: <http://www.anfoworld.com/lasers.html>
- [3] 西村隆之, 中西功, “視野が重ならない複数カメラに対するレーザ光線とその反射光によるキャリブレーション法,” 信学会 (ITS 研究会), Jul. 2021.