

実映像型ドライビングシミュレータへの車線変更の実装に向けた映像切り替え時における違和感の軽減

村上 誠人 指導教員：河中 治樹

1 はじめに

近年、ドライビングシミュレータ (DS) の需要はますます増加している。特に高度道路交通システムの研究においては、DS でしか再現できない状況や安全面の配慮から DS が広く用いられている。しかし一般的に用いられている CG 型 DS は、実際の車両挙動と DS で再現される車両挙動の差異や、投影される映像とモーションの同期のズレなどといった、シミュレータの実環境の再現性に問題が残されている [1]。

そこで、実写映像を用いた実映像型 DS に関する研究も進められているが、多くの実映像型 DS では非操舵性の映像を使用しており、完全な動的挙動を実現することはできない。しかしながら、ステアリングは運転の主要なメカニズムの一つであるため、実映像型 DS にステアリング機能を導入することの重要性は明らかである。ステアラブルな実映像型 DS に関する研究はいくつかされているが、モビルマッピングシステムといった高価な機材を使用していたり、複数映像の同期付けが課題として残されている。

本研究でも実映像型 DS を保有しており、現状のシステムで代表的な操舵行為である車線変更を再現した場合、単純な映像切り替えではフレームの対応が取れていないことによる時間的なズレや、車両横方向の空間的なズレが生じてしまい、ドライバーに違和感を与えてしまうことが予想される。

したがって本研究では、カメラによって撮影された複数映像の同期付けを行ったうえで、仮想車両の向きと位置を考慮し、適切な車両位置を反映させた違和感の少ない車線変更を実映像型 DS に実装することを目的とする。

2 違和感軽減に向けた手法の提案

2.1 映像間のフレーム対応付け

はじめに、複数走行映像のフレーム対応付けについて説明する。具体的には、久徳らの提案する 2 カメラ間の位置関係を反映したフレーム間距離尺度によるフレーム対応付け [2] を用いる。これは画像中心からエピポールまで距離とカメラ間の光軸方向の距離との関係を利用したもので、カメラが光軸方向に遠い場合は画像中心からエピポールまでの距離は短く、逆に光軸方向に近い場合は画像中心からエピポールまでの距離は長くなる特徴を持つ。

図 1 に 2 カメラ間の幾何学的関係を俯瞰したものを示す。ここで、 $O = (0, 0, 0)$ 、 $Q = (q_x, q_y, q_z)$ はそれぞれカメラの位置、 f は焦点距離、すなわちカメラ O から画像平面までの距離、 $E = (e_x, e_y, e_z)$ はカメラ O の画像平面におけるエピポールを表している。カメラ Q とスケール s を用いると、エピポールの位置は $E = sQ$ と表される。このとき、 E の z 成分 sq_z は焦点距離 f に等しいため、 E は

$$E = (e_x, e_y, f) = f \left(\frac{q_x}{q_z}, \frac{q_y}{q_z}, 1 \right) \quad (1)$$

と書き換えることができる。つまり、画像中心を原点とした画

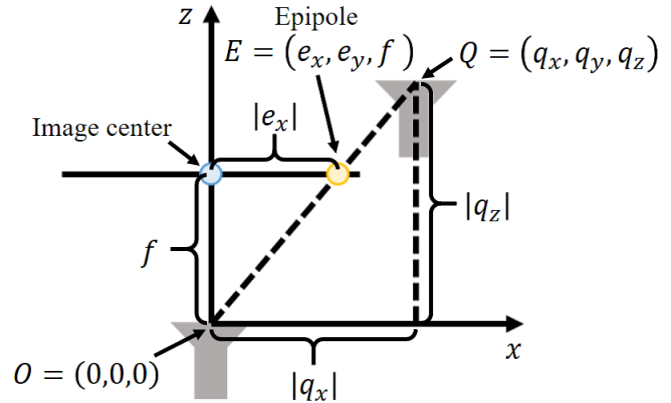


図 1 2 カメラ間の幾何学的関係の俯瞰図

像平面上のエピポール位置 (e_x, e_y) は、車両進行方向に対するカメラ間距離 $|q_z|$ が大きいほど原点に近づき、小さいほど原点から遠ざかることが分かる。ここで、カメラは xz 平面で移動するため、 e_y は考慮せず、 e_x のみに注目すると、以下の関係が成り立つ。

$$\frac{f}{|e_x|} = \frac{|q_z|}{|q_x|} \quad (2)$$

このとき、 f と $|q_x|$ が一定であると仮定すると、 $\frac{1}{|e_x|}$ はカメラ間距離 $|q_z|$ に応じて増減することが分かる。以上より、画像中心とエピポールとの x 軸方向の距離の逆数である $\frac{1}{|e_x|}$ は、車両進行方向である z 軸方向の相対位置を正確に反映した距離尺度として用いることができ、これによりフレーム対応付けを行う。

2.2 仮想車両の向きと位置を考慮したトリミング位置の決定

映像間でフレームの対応が完了したら、映像切り替えによる車線変更を実映像型 DS に実装する。式 (3) によって逐次計算される車両横方向位置が隣接車線との境界線を跨ぐタイミングで車線変更を行う。

$$p_x(t) = p_x(t-1) + \frac{v_x(t)}{\omega} \sin(\omega T) + \frac{v_y(t)}{\omega} \cos(\omega T) - \frac{v_y(t)}{\omega} \quad (3)$$

ここで、 p は車両横方向位置、 v は車両速度、 ω は角速度、 T はフレーム間時間、 t はフレームを表す。走行している車線の幅員は、各市町村が提供する情報があればそれに基づいて設定し、情報がなければ 3.5 m とする。

仮想車両の向きと位置を考慮したトリミング位置決定のフローチャートを図 2 に示す。ここで、 $VideoFrame$ は走行映像の全フレーム数、 t は現在のフレーム、 $Lane$ は走行車線 (1: 左車線, 2: 右車線)、 l は車線幅員、 L_t は表示領域の左端位置、 U は 1 走行映像の横 pix、 J は表示領域の横 pix、 γ は仮想車両の向きから計算される値、 β は仮想車両のヨー角範囲であり、各車線にローカル座標が定義されている。仮想車両ははじめに道路中央において道路に対して平行な向きに走行しているものとし、左車線の右端 ($p_{t_x} = l$) および右車線の左端 ($p_{t_x} = 0$) を閾値として、車線変更の分岐を処理する。

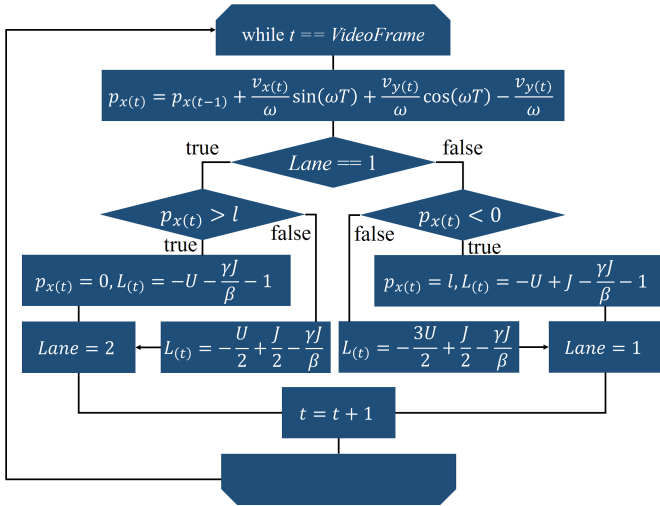


図2 仮想車両の向きと位置を考慮したトリミング位置決定

3 提案手法による車線変更の妥当性検証

提案手法によって違和感を軽減できたかどうかについて、車線変更時の実写映像と実映像型 DS で車線変更を行った際の映像を比較し、検証する。対象経路は愛知県道 209 号愛・地球博記念公園瀬戸線で、映像は GOPRO HERO5 によって 4K30fps で撮影されたものを使用する。ここで、実写映像を基準映像、実映像型 DS の映像を比較映像とし、比較映像は表 1 に示すように 4 種類の映像を用意した。

表 1 比較映像の区別

映像種別	フレーム対応	仮想車両の向きと位置の考慮
映像 1	無し	無し
映像 2	有り	無し
映像 3	無し	有り
映像 4	有り	有り

3.1 消失点位置の比較

多くの道路では路面に中央線や路側帯を示す白線が引かれており、カメラが車線に沿って移動している場合、これらの直線は消失点で交差する。すなわち、消失点方向が進行方向となり、車線変更時に消失点位置がずれてしまうと違和感が生じてしまう。そこで、車線変更直後のフレームに対して消失点を検出し、基準映像における消失点位置との距離を比較する。図 3 に基準映像および比較映像の消失点の検出例を示す。

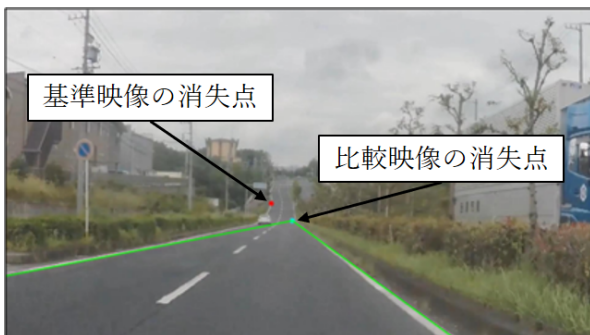


図3 検出された消失点

3.2 ハッシュ値による類似度の比較

基準映像と比較映像の差異をハッシュ値を用いたスコアの比較によって調査する。ハッシュ値の算出からスコア化までの流れを以下に示す。

- i) 元画像をグレースケール化し、 8×9 のサイズに変換する。
- ii) 各行の画素について、右に隣接する画素よりも値が大きければ 1 を、小さければ 0 を配列に格納し、これがハッシュ値となる。
- iii) 基準映像と比較映像のハッシュ値で最もハミング距離が近いものを線形探索する。
- iv) 求めたハミング距離の平均 m を算出し、 $\frac{64-m}{64}$ によりスコアを求める。

なお、線形探索する際、基準映像の i フレーム目のハッシュ値と比較映像の j フレーム目のハッシュ値をペアとしたとき、 $i+1$ フレーム目のハッシュ値のペアは k ($k > j$) とし、時系列を加味する。

3.3 検証結果

各映像の消失点間距離とハッシュ値によるスコアを表 2 に示す。表 2 より、提案手法を用いた場合が最も消失点が離れてしまっていることが分かる。向きや位置を考慮したものが与える映像として本質的には正しくても、結果として違和感が大きくなってしまっていることが確認された。また、ハッシュ値によるスコアについてみると、フレーム対応付けによるスコア向上はなく、対応付けても対応付けなくてもスコアはあまり変化しない結果となった。さらに、仮想車両の向きと位置を考慮した映像 3 および 4 は、考慮していない映像 1 および 2 よりもスコアが低くなっており、向きと位置を考慮することで消失点位置が大きく離れてしまっていることが影響していると考えられる。

表 2 各映像の消失点間距離とスコア

	映像 1	映像 2	映像 3	映像 4
消失点間距離	73.3	89.7	670.1	684.9
スコア	0.74	0.75	0.67	0.59

4 おわりに

本研究は、実映像型 DS への車線変更実装時の違和感軽減を目的とし、画像中心とエピソードの距離尺度によるフレーム対応付けや、仮想車両の向きと位置を考慮したトリミング位置決定の提案をした。結果として、映像間のフレーム対応付けが違和感へ与える影響は少なく、仮想車両の向きと位置を考慮したトリミング位置決定を行うと違和感が大きくなることが確認された。これは、提案手法により消失点位置が離れてしまうことが原因であると考えられる。そのため、二つの走行映像間に中間視点映像を挿入し、消失点位置を補間することで違和感を低減させることが今後の課題として挙げられる。

参考文献

- [1] 大島, 他. 生産研究, Vol.67, No.2, pp.87-92, 2015.
- [2] 久徳, 他. 信学論 D, Vol.J95-D, No.11, pp.1973-1982, 2012.