

環境変化に対応した自律走行車両用コース生成アルゴリズムに関する研究

日大生産工(院) ○張 宝亮
日大生産工 景山 一郎

1. まえがき

現在, 日本の自動車保有台数は約 8200 万台と増加の傾向にある. このような自動車の増加と共に, 交通事故発生件数や死者数は減少傾向にはあるが, 依然として厳しい状況である. この事故の原因として, 安全不確認, 脇見運転, 不注視といった人間の要因が挙げられる. そこでこれら問題の解決策として, ドライバを制御ループ内に含まない自律走行車両の構築が期待される. しかし近い将来を想定したとき, 道路上で自律走行車両と従来車両や他の交通が混在する複雑な状況において, 従来車両や歩行者などに対して不安や負担を与えるシステムは好ましいものではない. そこで, ドライバの感覚に近い経路生成が重要となる.

本研究では人間の経路生成プロセスを模擬した制御目標コース生成アルゴリズムの構築について検討する.

2. 一般道で実車実験

自動車を運転するドライバーは様々な周辺情報を取得し, それらの情報から目標コースや制御動作を決定しているものと考えられる. 一般的なコース生成と運転行動を把握するために一般道を用いた実車実験を行った. 実験に当たり「人を対象とする研究倫理委員会」へ申請を行い受理されている. (受理番号: S2015-005-1)

実験路は全長 1.4km, 幅員 5m から 6.5m, 最小曲率半径 65m のセンターラインの無い農道を用いた. 図 1 に実験コースと曲率を示す.

実験参加者は運転経験の異なる 20 代男性 2 名を選定し, インフォームドコンセントを行い, 了承をとった上で実験を行った. 実験参加者は比較的運転経験の豊富な実験参加者 1 名 (実験参加者 A) と運転経験の少ない実験参加者 1 名 (実験参加者 B) である.

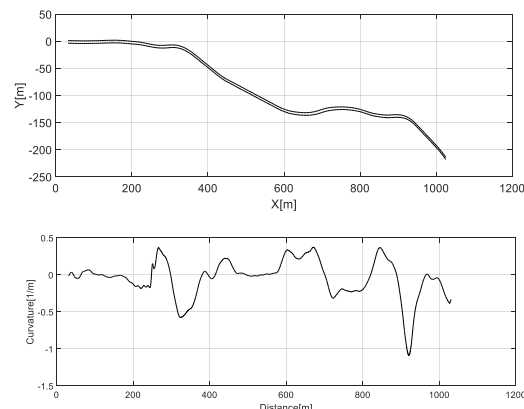


Fig.1 Experiment Course

実験は対向車がいるため安全を優先し, 速度は規定せず, 交通ルールを守った上で走行を行った. 実験車両は国産 2500cc の普通自動車を用い, 計測機器として光学式 2 軸速度計, RTK-GPS, 操舵力角計, 3 軸光ファイバジャイロスコープ, 3 軸加速度計, 前方画像カメラを用い, 計測を行った. 自動車の運動として車両状態量と車両軌跡, ドライバの入力として操舵角, 操舵トルク, アクセル開度, ブレーキ踏力を計測した. 図 2 は実験参加者 A の走行時間に応じた各車両状態量を示す.

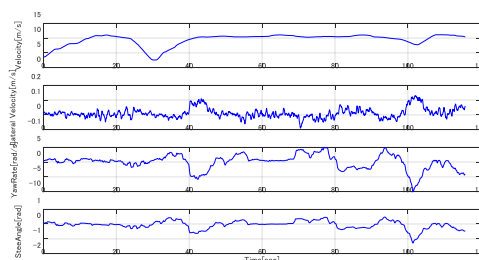


Fig.2 Experiment Data

車両軌跡について解析を行った結果を図3に示す. 初めに被験者の車両軌跡を目標コースとして想定した. 操縦時に重要となる環境情報に注目し, 図4に示すように操舵角に対する目標コースの曲率, 目標ヨーレイトの相関が非常に高いことが分かる.

Study on Construction of Optimal Course Decision Algorithm in Various Environmental Situation for Autonomous Vehicle

Baoliang ZHANG, Ichiro KAGEYAMA

3. コース生成アルゴリズムの構築

目標コース生成アルゴリズムを構築する際に目標コース生成だけを考えなくて想定する自律走行車両システムにおいて、環境情報の取得から目標コース生成を行い、目標コース追従を制御し、車両誘導制御系に情報を伝達するまで考えなければならない。

3.1. 自動運転システムの構成

自律化や自動運転システムが、図5で示すように様々な走路環境の認識を行い、情報処理して目標コース生成する。その後で目標コース追従や車両制御^{*1}を行う。

目標コース追従制御は目標コースの情報を直接使ってフィードフォード(以降FF)制御に加え、自動車の状態フィードバック(以降FB)による補償制御を併用する制御である。本稿で使う目標コース追従制御は、前後方向の制御と横方向の制御の二つである。この中で前後方向の制御とは、図6(a)で示すように目標速度を設定すると、自動車の速度を自動的に制御するものである。現在の速度と目標速度の差が0になるようにPID制御を行う制御である^{*2}。横方向の制御は図6(b)で示すように操舵角との相関が高い目標コースの接線角をFF情報として採用し、またFF情報の補償情報をFB情報として採用し、車両情報の中で相関の高い自動車のヨーレイトをFB情報として採用する制御である^{*3}。前述のように、図7はトータルの自動運転システムの構成を示す。

3.2. コース生成システムの出力

図7より、目標コース生成システムの出力とする目標速度、目標コースの曲率、目標ヨーレイトは目標コース追従システムに入力される。

ここで、目標コース生成システムの出力として妥当性であると確認するために、目標コース追従システム及び車両運動モデルを用いてシミュレーションしていった。同定結果を図8に示す。図の上段が目標速度と目標コース追従システム及び車両運動モデルの出力値の比較、図の中段が目標コースの接線角と目標コース追従システム及び車両運動モデルの出力値の比較、図の下段が目標ヨーレイトと目標コース追従システム及び車両運動モデルの出力値の比較である。これより、目標コース生成システムの出力として妥当性であると確認した。続いて、決めた出力によって環境情報の取得からドライバの感覚に近いコース生成プロセスを検討しなければならない。

ここで、ドライバが運転する時、周辺環境からの潜在的なリスクを反映させ車両を制御するので、ドライバの危険感を考慮したコース生成アルゴリズムの構築を考えられる。

4. 危険感レベルの推定手法

過去の研究において、景山らは走行環境に対して人間が感じる危険度合いを危険感と定義し、運転者が前方視野から受ける危険感を4要素に分ける。

- ・路端の危険感：自動車が路端に近づくことによる危険感（左右独立として2要素）
- ・前方の道路形状による危険感：危険感を検討する横断面から先の道路の曲率等による危険感
- ・障害物等による危険感：駐車車両、歩行者、対向車等による危険感

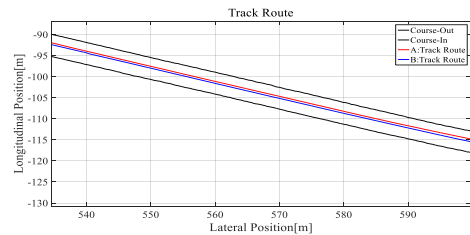


Fig.3 Track route of subjects

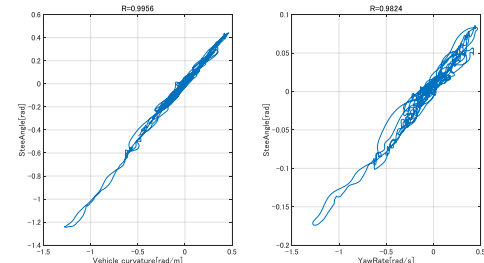


Fig.4 Scatter chart of Relation between Steer Angle

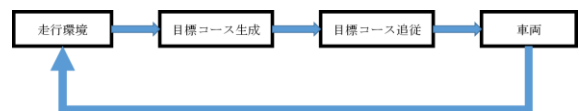
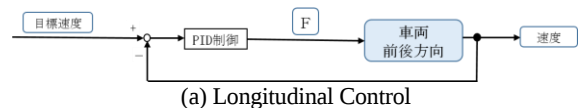
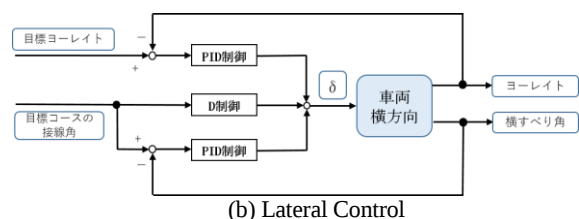


Fig.5 The concept of autopilot system diagram



(a) Longitudinal Control



(b) Lateral Control

Fig.6 Target course follow-up control

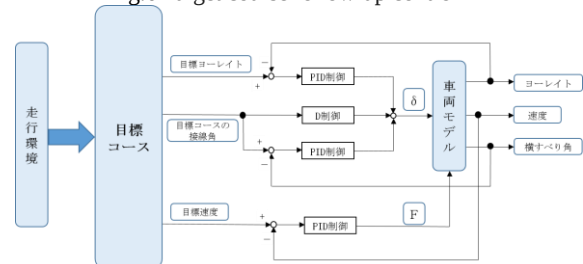


Fig.7 Autopilot system

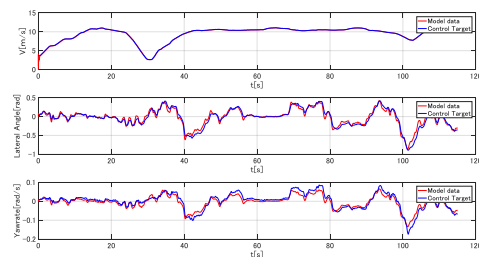


Fig.8 Control Target and Model data

上記の要素が合成される危険ポテンシャル空間を定義することになると、最小の危険感の値を持つ位置を選択して走行コースを生成することになる^{*4}。しかし、危険感レベルにドライバの経験やドライバ特性、道路環境や速度などの影響を考慮するとき、各要素にどのように影響を与えているのか把握しなければならない。

5. 実験路で実車実験

ドライバの危険感レベルの定量化と最適コース推定を行うために様々な条件を指定する必要がある。そこで理工学部実験路を用いた実車実験を行い、実験条件としては道路幅、速度、実験参加者などを変えることでドライバの危険感レベルの定量化と最適コース推定を検討する。ここで実験参加者は第2節で述べた被験者と同じ人(A, B)だ。実験に当たり「人を対象とする研究倫理委員会」へ申請を行い受理されている。(受理番号：S2015-005-1)

5.1. 実験条件

試験項目としては、路端に対して危険感の場合実験に用いたコースを図9(a)に示す。コース条件として直線道路で道幅は2.5, 3.5[m]の2条件でコース全長200[m]で加速区間50[m]、解析区間100[m]、減速区間50[m]で行なった。実験条件としては加速区間で道路の中心を基準として加速を行い一定速度で30, 50[km/h]の2条件で解析区間に入ったら自分の安全に走行できる位置に運転する、減速区間で安全に停止した。

障害物に対して危険感の場合実験に用いたコースを図9(b)に示す。コース条件として直線道路で道幅は5.5[m]でコース全長200[m]で加速区間50[m]、解析区間100[m]、減速区間50[m]で行なった。そのコースを用いて障害物を道路の左車線に設置し、実験参加者に左車線を走行してもらい通常の走行と同じように障害物の回避を行ってもらうように指示を行った。実験条件としては速度一定で30, 50[km/h]の2条件で回避を行った。

5.2. 計測項目

計測項目としては、ドライバの操作量として操舵角、操舵トルク、アクセル開度、ブレーキ踏力の4項目とした。車両状態量として前後方向速度、横方向速度、ヨー角、ヨーレート、前後方向加速度、横方向加速度、車両軌跡の7項目とした。環境情報としてTobiiGlassesによるドライバの視線情報を計測した。計測機器として光学式2軸速度計、RTK-GPS、操舵力角計、TobiiGlasses、3軸光ファイバジャイロスコープ、3軸加速度計を用い、計測を行った。

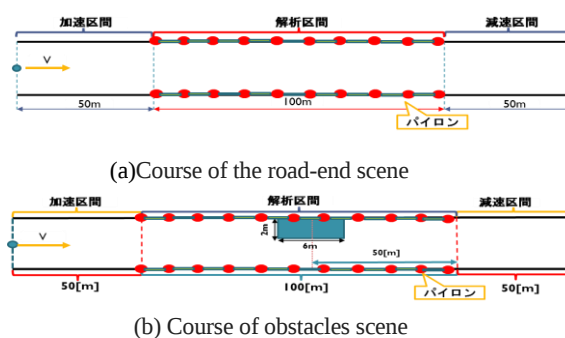


Fig.9 Experimental course

5.3. 実験結果

実験参加者A, Bそれぞれの車両軌跡と操舵角を図10~15に示す。実験結果の走行軌跡からA, B両者において軌跡に差が生じているから、違いドライバにおいて危険感に差が生じていると考えられる。



Fig.10 Track route of subjects (road width: 2.5m)

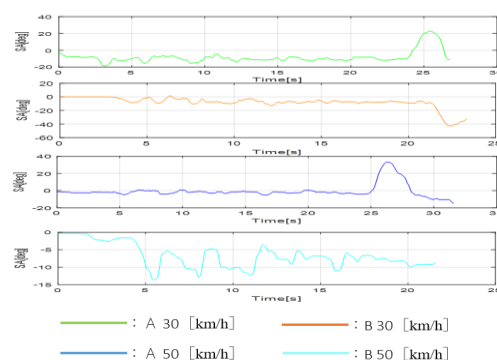


Fig.11 The steering angle (road width: 2.5m)



Fig.12 Track route of subjects (road width: 3.5m)

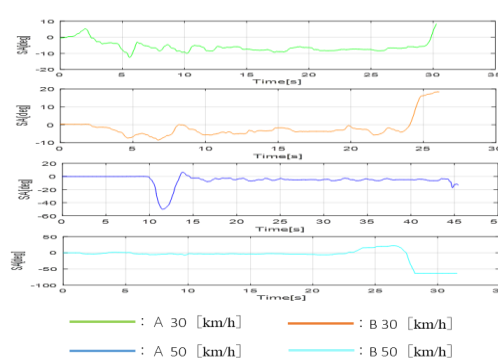


Fig.13 The steering angle (road width: 3.5m)

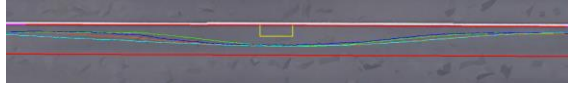


Fig.14 Track route of subjects (Obstacle)

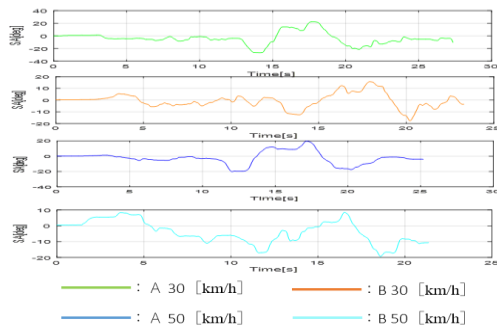


Fig.15 The steering angle (Obstacle)

5.4.解析方法および検討

従来の研究^{*5}では走行環境に対するドライバ固有の特性に変化,その結果得られる操縦特性の変化を周波数解析により示した.そこで,運転者が受ける危険感が増加するため,急速なコース修正動作を行って,運転動作の変化からドライバの危険感レベルの推定を検討する.検討項目としてドライバからの入力である操舵角を周波数解析した.操舵角の周波数はドライバの危険感を表すと考えられる.

解析結果は例として図16に示す. A, Bの周波数解析結果をまとめ,操舵角の周波数と速度の関係は図17に示す. 近似曲線として指数関数の係数が周波数ゲインを仮定する. 図より, 道幅に対して熟練者より初心者の周波数ゲインが大きくなることわかる. また, 道幅が狭い場合周波数ゲインが大きくなることを確認した. また, 速度が速い場合周波数が大きくなることもわかる.

続いて, 障害物の有無によって A, Bの周波数解析結果と比べて図18に示す. 横軸はシーンの名前, 縦軸は操舵角の周波数とする, これらのグラフから路端より障害物に対して周波数が大きくなることわかる.

6. 結論

まず, 本研究では人間の経路生成プロセスを模擬した制御目標コース生成アルゴリズムを構築するために目標コース生成システムの出力として目標速度, 目標コースの曲率, 目標ヨーレイトの妥当性が確認された.

また, ドライバの感覚に近いコース生成に対して, 道路環境や運転者間の差について検討を行い以下の結論を得た.

- ① ドライバの危険感を考慮したコース生成アルゴリズムの構築の可能性が確認された.
- ② 危険感レベルの設定には周波数ゲインより個人差があることを確認した.

③ 速度が速くなると, 運転者が受ける危険感が増加するため, 操舵周波数が高くなることを確認した.

④ 操舵角の周波数より障害物はドライバの危険感に影響を及ぼすことを確認した

今後の課題として, 目標コースの曲率と目標ヨーレイトは環境情報および操作動作との関係が危険感に表わさせる. そこで, コース生成システムの入出力関係を明確化する. それによって最適コース生成アルゴリズムを構築する.

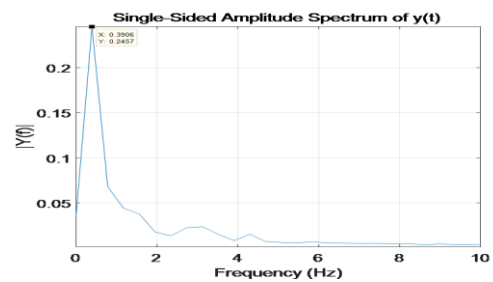


Fig.16 Frequency analysis of the steering angle

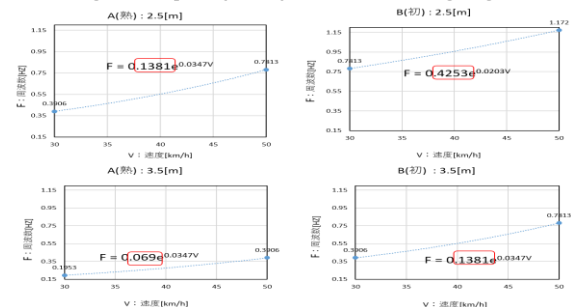


Fig.17 Relationship between the frequency and speed of the steering angle

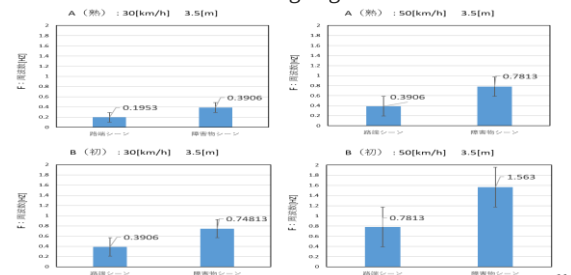


Fig.18 Frequency variation diagram in a different scene

「参考文献」

- 1) 景山ほか, 自動車力学,理工図書 (2010) p. 136-140.
- 2) 網島ほか, クルマとヒコキで学ぶ制御工学の基礎, コロナ社 (2012) p. 129-133.
- 3) 景山ほか, ドライバモデルを用いた操縦動作解析, 自動車技術会学術講演梗概集, No.117-06, (2006)
- 4) 景山一郎: 前方視野の危険感を用いたドライバモデル,自動車技術会, No. 24 -02, (1993)
- 5) 清田ほか, 直進走行における危険レベルの定量化手法の構築, 自動車技術会2009年春季大会学術講演会前刷集, No.1-09, (2009),p.17-21