

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,動静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コース生成が重要となる.

本研究ではリスクポテンシャルドライバーモデルを用いたコース生成アルゴリズムについて研究する.

2. 危険ポテンシャル空間

ドライバは道路環境に対して危険感に合わせ自動車を運転していると仮定し,結果とし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要素に分けた.

- ・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

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より,最小の危険感位置を選択して走行コースを生成することになる⁽¹⁾.

3. 実験路で実車実験

ベースとして今段階では直線路における運転者の危険ポテンシャルの構成を検討してコース生成アルゴリズムを構築するために,実験路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:S2015-005-2)

3.1. 実験条件

路端に対して危険感の場合実験に用いたコースを図2のaに示す.コース条件として直線道路で道幅は2.8,3.3,3.8[m]の3条件でコース全長300[m]で加速区間100[m],解析区間100[m],減速区間100[m]で行なった.実験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30,40,60[km/h]の3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.一人に3セットだ.

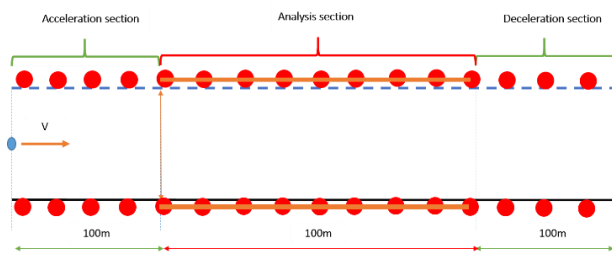
障害物に対して危険感の場合実験に用いたコースを図1のbに示す.コース条件としては幅広い実験路でコース全長200[m]で加速区間100[m],解析区間100[m],減速区間100[m]で行なった.加速区間で障害物の中心を基準として,1.5[m],2[m],3[m]を左右それぞれで加速を行い一定速度で30,60[km/h]2条件で解析区間に入ったら自分の安全に走行できる位置に障害物の回避を行ってもらうように教示を行った.減速区間で安全に停止する.

ここで,実験参加者は運転経験の運転経験の豊富な20代男性3名(A,B,C)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.実験車両は一般道路で実車実験と同じの当研究室で保有するドライバモニタリングカーだ.

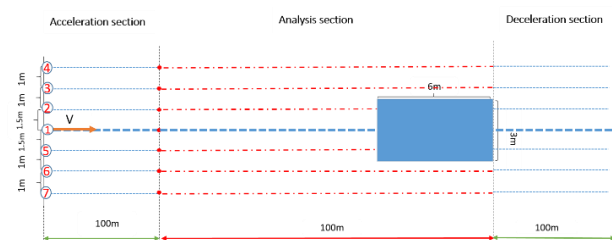
計測機器として光学式2軸速度計,RTKGPS,操舵力角計,3軸光ファイバジャイロスコープ,3軸加速度計を用い,計測を行った.計測項目としては,ドライバの操作量として操舵角,操舵トルク,アクセル開度,ブレーキ踏力の4項目とした.車両状態量として前後方向速度,横方向速度,ヨー角,ヨーレート,前後方向加速度,横方向加速度,車両軌跡の7項目とした.

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

Baoliang ZHANG, Ichiro KAGEYAMA



(a) Course of the Road-end Scene



(b) Course of Obstacles Scene

Fig.1 Experimental Course

3. 2. 実験結果

3. 2. 1. 路端シーンの実験結果

ここで、実験参加者 C のデータを解析したことが挙げた。例として道幅は 3.8[m] 場合に路端シーンの実験結果として図 2 の a に 40[km/h] の車両軌跡について解析を示す。

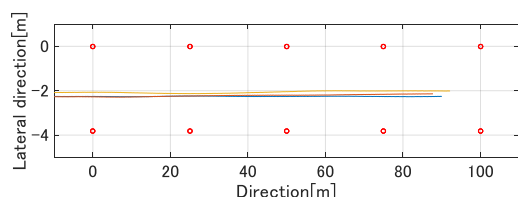


Fig.2 The Trajectory of the Vehicle (3.8m/40km/h)

車両軌跡の図を見ると、運転環境が同じの場合で車両軌跡もちょっと違う、ここで、一定範囲内ドライバの危険感が同じレベルと考えられる。この範囲はドライバの許容レベル範囲を定義する。

従来の研究によって左右の路端危険感それぞれは図 3 の右辺に示すように自然関数①、②に仮定した⁽²⁾。ここで、R は左右それぞれの危険レベル、A を左右それぞれ危険感の値、y を車両の横位置、L を左右それぞれの緩和長、Y を道路の幅員とする。左右それぞれ危険感を受けるときの人間の感じる危険度合いの最小値を時系列的に求め繋ぎ合わせたものの軌跡を最適経路と考えることができる。ここで、図の中で許容レベル範囲を加えた。左右自然関数の交点の横軸に座標は許容範囲の中心位置と合うと仮定する。

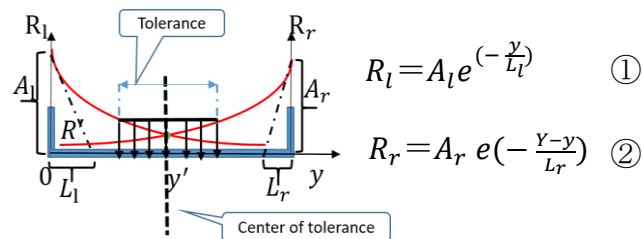


Fig.3 Risk of the road

続いて、実験参加者 C の全てデータを見ると、道幅が増加すると自動車の重心点横変位は大きくなり、また操舵周波数が低くなる。これは道幅の増加により操縦者が受ける危険感が減少したため、緩慢なコース修正動作へと移行したことを現している。また、速度に対して周波数の比較としては速度が速い場合周波数大きくなる。これは車速の増加によりドライバが受ける危険感が増加したため、急激なコース修正動作へと移行したことを現しており、通常の経験と一致する。ここで、操舵周波数を用いて危険感レベルを表す。続いて、許容範囲の中心位置と操舵周波数とを自然関数①、②に代入して A_r 、 A_l 、 L_r 、 L_l を計算して速度に対して関係を検討した。 A_r 、 L_r は速度に対して対数関数③、④式に高くなることがわかった。また、 A_l 、 L_l は速度に対して指数関数⑤、⑥式に高くなることもわかった。

$$\begin{cases} A_r = P * \ln(v) + Q & ③ \\ L_r = p * \ln(v) + q & ④ \end{cases}$$

ここで、 P 、 Q 、 p 、 q は係数である。

$$\begin{cases} A_l = G * e^{(H * v)} & ⑤ \\ L_l = g * e^{(h * v)} & ⑥ \end{cases}$$

ここで、 G 、 H 、 g 、 h は係数である。

3. 2. 2. 障害物シーンの実験結果

結果としては、図 4 に示すように車両軌跡である。この図を見ると、ドライバは障害物を避けるタイミングの位置を抽出する。それらのポイントは部分楕円関数に高くなることが考えられる。また、速度に対して回避のタイミング比較としては速度が速い場合タイミングが早くなる。これは車速の増加によりドライバが受ける危険感が増加したことが考えられる。図 5 に示すように操舵周波数である。この図を見ると、速度に対して周波数の比較としては速度が速い場合周波数大きくなる。これは車速の増加によりドライバが受ける危険感が増加したため、急激なコース修正動作や障害物の避けるへと移行したことを現す。ここで、操舵周波数を用いて危険感レベルを表す。

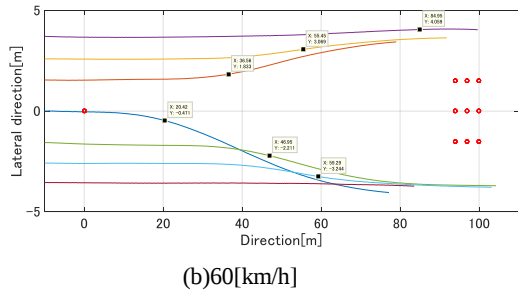
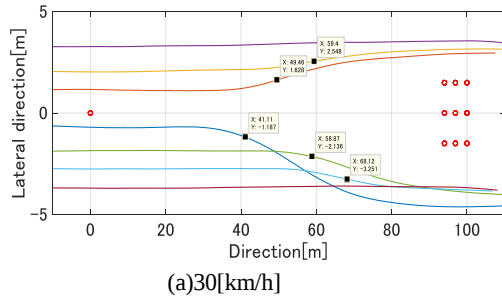


Fig.4 The Trajectory of the Vehicle
Single-Sided Amplitude Spectrum of y (

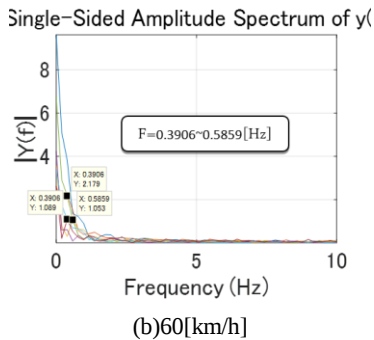
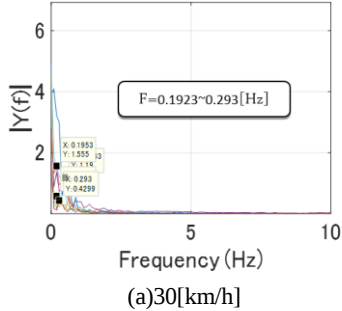


Fig.5 The Frequency of steering angle

次に、前に述べた図 4 より車両軌跡を見ると、障害物の危険ポテンシャルには障害物を中心とする楕円関数⑦と仮定した。

$$\frac{x^2}{(Aa)^2} + \frac{y^2}{(Bb)^2} = 1 \quad (7)$$

ここで、a は障害物の長さの半分、b は障害物の幅の半分である。

障害物を回避するタイミング位置の X,Y を楕円関数⑦式に代入して A,B を計算する。結果としては表 1 に記入する。

Table 1 Parameters

	A	B
8.33m/s	18.9	2.2
16.66m/s	23.3	2.4

ここで、A,B は速度に対して関係を検討して、A は速度に対して指数関数⑧に高くなることがわかった、また、B は速度に対して対数関数⑨に高くなることがわかった

$$\begin{cases} A = M \cdot \ln(v) + N & (8) \\ B = m \cdot \ln(v) + n & (9) \end{cases}$$

ここで、M、N、m、n は係数である。

障害物の寸法や車速については線形関数を明確し、障害物の危険感領域を推定するために式⑩のようなロジットモデル⁽³⁾を構築した。ここで、Z は障害物の危険レベル、x を縦方向の位置、y を横方向の位置、v を車との相対速度、a を障害物の長さの半分、b を障害物の幅の半分とする。また、K,A,B、がパラメータである。

$$Z(x, y, v) = \frac{K}{1 + e^{\frac{x^2}{(A \cdot a)^2} + \frac{y^2}{(B \cdot b)^2}}} \quad (10)$$

障害物を回避するタイミング位置の X,Y と操舵周波数とを式⑩に代入して K を計算する。結果としては表 2 に記入する。

Table 2 Parameter

	K
8.33m/s	0.91
16.66m/s	2.18

ここで、K は速度に対して関係を検討して速度に対して指数関数⑪式に高くなることがわかった。

$$K = D \cdot e^{(E \cdot v)} \quad (11)$$

ここで、D、E は係数である。

4. コース生成モデルの構築

4.1.モデル式

まず、路端の危険ポテンシャルは式①、②、③、④、⑤、⑥に定義しました。ここで、これらの式から算出することのできる危険レベルを模式的に表したものを図 6 に示す。

次に、障害物の危険ポテンシャルには式⑧、⑨、⑩、⑪に構成された。路端の危険感および障害物の危険感を合わせて図 7 に示すように最小の危険感位置 y'

を決めることが考えられる。

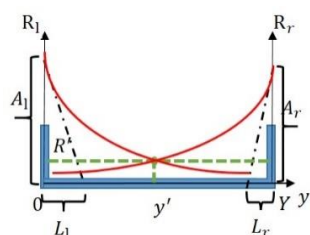


Fig.6 Risk of the Road

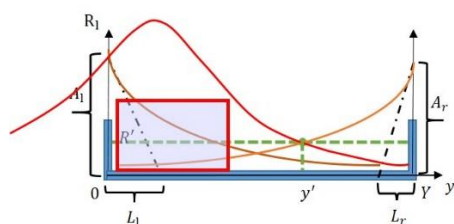


Fig.7 Minimum Risk Position

5. ドライバの感覚に近いコース生成の表現性

障害物に対して危険感の場合実験に用いたコースを図 8 に示す。コース条件として直線道路で道幅は 5.5[m] 二車線のコース全長 300[m] で加速区間 100[m], 解析区間 100[m], 減速区間 100[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。実験は速度一定で回避を行った。ここで、実験参加者は運転経験の豊富な 20 代男性 1 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。実験車両は、実験車には当研究室で保有するドライバモニタリングカーを使用した。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스코プ、3 軸加速度計を用い、計測を行った。

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。

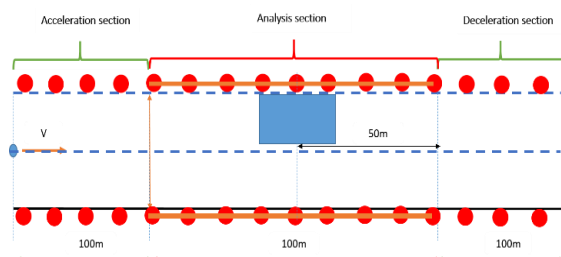
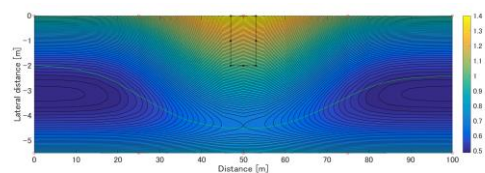


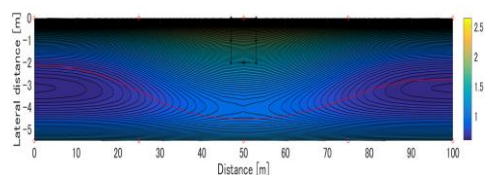
Fig.8 Experimental Course

リスクポテンシャルドライバーモデルの有効性を保証するために図 8 に示すように実験の条件は構築したリス

クポテンシャルドライバーモデルを入力して目標コースを生成し、実車実験の結果と比べる。図 9 を見ると、リスクポテンシャルドライバーモデルを用いてドライバによる運転に近い目標コースが生成されていることを示した。モデル値と実験値との横位置の誤差は図 10 に示すように 30% の範囲内を示した。



(a) V:30[km/h]



(b) V:50[km/h]

Fig.9 Actual vehicle experiment and target generation

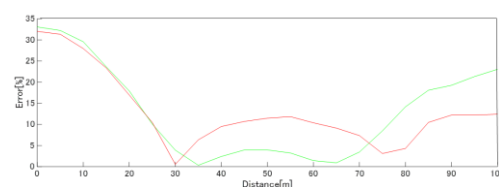


Fig.10 Error of lateral position

6. 結論

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障害物の危険ポテンシャルは式化にして路端の危険感モデルと組み合わせ、コース生成モデルが構築されてモデルの有効性を検証した。課題としては、実験パラメータの精度を上がってモデルの有効性を向上する。またさらに、動的な障害物の危険ポテンシャルの推定とサンプル数を増やして一般性を持たせるための展望として考えられる。

「参考文献」

- (1) 景山一郎：前方視野の危険感を用いたドライバモデルについて，自動車技術会，Vol. 24，No. 2，p. 81-87 (1993)
- (2) 景山一郎ほか：車線変更時の希望進路決定アルゴリズムの構築，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 70-10，p. 17-22 (2010)
- (3) 萩原亨ほか：歩行者・自転車双方の立場から見た歩道空間における危険感知領域に関する基礎的研究，土木計画学研究・論文集，No. 23，p. 567-573 (2006)