

統合ドライビングシミュレータ向け ミクロ交通シミュレーション方式

中澤克^{†1} 小沼寛^{†1} 清水大史^{†1} 清原良三^{†1}

概要: 車載情報機器は、カーナビゲーションシステムなどほとんどの車に搭載されているといっても過言ではなく、またこれらの機器の操作により注意散漫になり事故が発生するケースも多い。自動車事故の約90%以上がドライバの不注意によるとまで言われている。そのため注意散漫を防ぐ自主規制などもされている。新たなUIを提案してとしても注意散漫に関する実車ではない評価環境が必要である。ドライビングシミュレータはその代表であるが、再現性がありすぎる問題や人間同士の微妙な運転のタイミングなど正しい評価できるとは言い難い。そこでネットワーク型のドライビングシミュレータが開発されているが、人的リソースやスペースの問題で簡単に導入できるわけではない。そこでマルチエージェント型の交通シミュレータとネットワーク型のドライビングシミュレータの統合を提案する。本論文では、統合環境におけるミクロ交通シミュレーションの方式を提案する。

キーワード: ドライビングシミュレータ、ネットワーク型、ミクロ交通シミュレーション

1. はじめに

1980年代から普及し始めたカーナビはGPSの搭載やVICSサービスの提供などをはじめとする技術革新により、高性能かつ多機能なものとなった。そして、現在、乗用車の7割程度にカーナビが搭載されている[1]。また、近年のスマートフォンの爆発的な普及により、ナビゲーションアプリなどを使用してスマートフォンをカーナビの代替機として用いることも多くなった。

しかし、カーナビの多機能化・高性能化に伴い、ドライバがカーナビの画面を注視したり操作に集中したりする場面が増えてきた。そのような状況では、運転中に注意散漫となり事故を起こす原因となる恐れがある。これを防ぐためにはUIの評価が必要となるが、実際の道路や車両で行うには危険である。

一方、自動運転技術進歩は目覚ましい。国内外にかかわらず自動運転機能を搭載した車両の研究開発が盛んに行われている。しかし、万一の事故の際の責任の問題など法律や保険などの仕組みも変える必要がある。また運転を楽しみたいというニーズも考慮すると全車両が自動運転車両になるわけではなく、自動運転車両においても自動運転モードと手動運転モードを切り替えることが頻繁にあると考えられる。つまり車載器のUIなどは手動運転を基本に考えておく必要があり、自動運転と切り替えなどもサポートとしていく必要がある。

そのため、車載器の評価などには図1に示すようなドライビングシミュレータが利用されることが多い。ドライビングシミュレータと自動運転技術には似通う部分がある。シミュレーション中で再現される被験者の周辺車両はコン

ピュータが制御している。いわば、自動運転車両が走行していることと同じである。つまり、自分の周囲に自動運転車両が存在する状況を容易に再現できる。さらに、ドライビングシミュレータを利用することは事故防止だけでなく、特定条件下で繰り返して実験・評価ができるため、実験・評価の精度向上に役立つというメリットもある。

しかし、実際の車両とは異なる環境を持つドライビングシミュレータでの実験には、ある程度シミュレータの操作に慣らしておく必要がある。一方で、ドライビングシミュレータはシナリオに沿って動くため、何度もシミュレートしているうちに被験者が操作慣れを起こし、シナリオのパターンを見越した運転操作などをしてしまうことから、正確な評価が得られなくなる場合がある。操作慣れを防ぐにはシナリオに沿った機械的な動きではなく、人間のような動きを再現したシミュレーション環境が必要である。言い



図1 ドライビングシミュレータ外観例

^{†1} 神奈川工科大学
Kanagawa Institute of Technology

換えれば、通常のシミュレーション環境では、機械的な動作をする自動運転車両の再現性は高いが、人間的な動きをする車両を再現することは難しい。

そこで、図2に示すネットワーク型ドライビングシミュレータが開発されている[2]。ネットワーク型ドライビングシミュレータは、複数のドライビングシミュレータをネットワークで接続した形のドライビングシミュレータである。

被験者が運転する車両の周辺を他者が運転する車両が走行するため、現実に近いシミュレートが可能となる。また、接続するドライビングシミュレータの数を増やすことで周辺を走行する車両を増やすため、より現実に近いシミュレーション環境を構築することができる。

しかし、それには、ドライビングシミュレータの購入費用、操作する人間や設置するスペースの確保などの多大なコストが必要となる。

この問題を解決するため、統合ドライビングシミュレータを我々は提案している[3]。統合ドライビングシミュレータは、ドライビングシミュレータと交通シミュレータを統合した形のドライビングシミュレータである。被験者が運転する車両の周辺を、交通シミュレータのエージェントで再現された車両が走行する。被験者のみがドライビングシミュレータで運転するので、大幅なコスト削減につながる。また、エージェントの数や特性を操作することで、交通の数量や地域性を再現できるため、多様な状況でのシミュレータを可能とする。

以下、第2節では、ドライビングシミュレータや交通シミュレータを扱った関連研究と、シミュレータの連携についての研究を紹介し、統合ドライビングシミュレータの課題と本論文の位置づけを述べる。第3節で、実験環境であるドライビングシミュレータや交通シミュレータの詳細について述べる。第4節で本論文におけるマイクロ交通シミュレーションに関する提案方式を述べ、第5節では、その提



図2 ネットワーク型ドライビングシミュレータ例
(神奈川工科大学内)

案方式の評価実験の結果を述べる。最後に、まとめと今後の展望について述べる。

2. 関連研究

ドライビングシミュレータと交通シミュレータを個別に扱った研究は多く、その研究対象はドライバの運転特性の解析やドライバモデルの評価、都市交通の再現など多岐にわたる。

また、ドライビングシミュレータと交通シミュレータを連携させる試みは他の研究機関などでも行われており、さまざまな手法の提案や実験・評価がなされている。

本節では、関連研究としてドライビングシミュレータと交通シミュレータを扱った研究を整理して述べる。

2.1 ドライビングシミュレータ

ドライビングシミュレータを利用した研究例として、ドライバの運転特性を解析する研究がある[4]。この研究では、ドライビングシミュレータから得られた被験者自身の走行データを使って被験者の前方に車両を再現し、その車両を追従する際の挙動を解析している。つまり、被験者が運転している車両を同一の被験者が追従して運転していることになる。同じドライバ特性を持っていれば正しいし、自動運転同士の車でも正しいと言っても良いであろう。

しかし、自身が運転する車両に追従して運転する状況は、現実とはほど遠い環境再現と言えるのではないかと。

2.2 交通シミュレータ

ドライバモデルを評価する研究として[5]がある。ここでは、マルチエージェント方式のマクロ型交通シミュレータMATES(Multi-Agent Based Traffic and Environmental Simulator)にUDM(Universal Driver Model)を応用したモデルを実装することで、MATESのドライバモデルを拡張している。

MATESは、交通の主体である自動車などをエージェントとしてモデル化し、エージェント同士が影響しあうことで渋滞や事故などの交通現象を再現する。

運転行為は認知、判断・予測、操作・行動の3フェーズに大別できる。運転中は各フェーズが順次繰り返され、フェーズが適切に行われなかった場合に事故が起こる危険性が生じる。UDMとは、これらの3フェーズを明確にモデル化したものである。

現実のドライバの挙動を再現できているドライバモデルほど、より精度の高いシミュレーションができる。よって、ドライバモデルの評価はシミュレーション技術の進歩に重要なことである。

本研究でも同様の方法でドライバモデルを構築する構王がある。

2.3 シミュレータの連携

2.3.1 KAKUMO

ドライビングシミュレータと交通シミュレータを連携

する際に、被験者の近くのみマイクロ型交通シミュレータ KAKUMO を利用する研究がある[6]。交通シミュレータの一部を詳細にシミュレートすることで、ドライビングシミュレータで自然な動きを再現できるようにする。ドライバの挙動精度を向上させるほど処理時間が長くなり通信遅延が発生する。そのため、詳細にシミュレートできる箇所は一部に絞られる。この研究ではあたかも実際の道路を走行しているように見せるため、大規模な地図やシミュレータ上の車両数なども必要になり限定した領域を絞ったマイクロ交通シミュレーションを実現している。我々の研究ではUIの評価などが目的であり、実際の地図と同じ環境での評価は不要で限定した領域のみを走るのに等しいため、このような工夫は必要ない。

2.3.2 密結合方式

統合ドライビングシミュレータを1つのソフトウェアとして構築する手法に密結合方式がある[7]。この手法では、異なる複数のシミュレータを連携し、1つのソフトウェアとして統合ドライビングシミュレータを構築する。しかしこの手法では、各シミュレータの大規模な改良が必要になるため、シミュレータごとの専門的な知識がなければ難しい。

2.3.3 疎結合方式

各シミュレータ間をネットワークなどで接続し必要な情報をやり取りすることで、異なるシミュレータを連携する手法として疎結合方式がある[7]。通信時のオーバーヘッドにより処理が遅れる可能性はあるが、既存のシミュレータを利用することができる。

3. 統合ドライビングシミュレータ

本説では、本研究で利用するドライビングシミュレータと交通シミュレータおよびネットワーク環境を以下に示す。次に、統合ドライビングシミュレータを構築する上での課題を述べる。

3.1 ネットワーク型ドライビングシミュレータ

ドライビングシミュレータは、被験者が運転するメインシミュレータと協力者が運転するサブシミュレータにより構成されたネットワーク型ドライビングシミュレータを用いる。図2左側にあるドライビングシミュレータがメインシミュレータである。メインシミュレータでは、6軸のアクチュエータで運転台を支えて車両の傾きを再現。これに加えて、5m四方にレールを敷き、その上で運転席を動かすことにより現実に近い加速度を再現する。

次に、ネットワークを通じて、協力者が運転する複数のドライビングシミュレータと接続する。ネットワークは直接接続し、UDPで30msecに1度通信する。ドライビングシミュレータの画面は図3に示すようなフローに基づき30msec間隔で表示し、協力者の運転する自動車の描画も行う。また、UDPで接続された各ドライビングシミュレータ

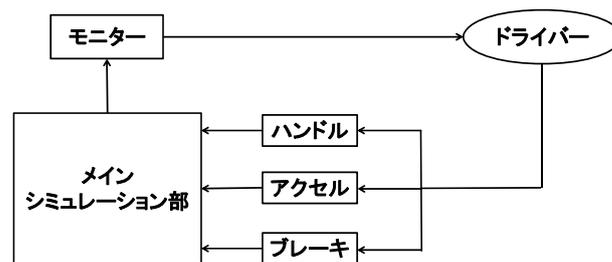


図3 ドライビングシミュレータ基本フロー

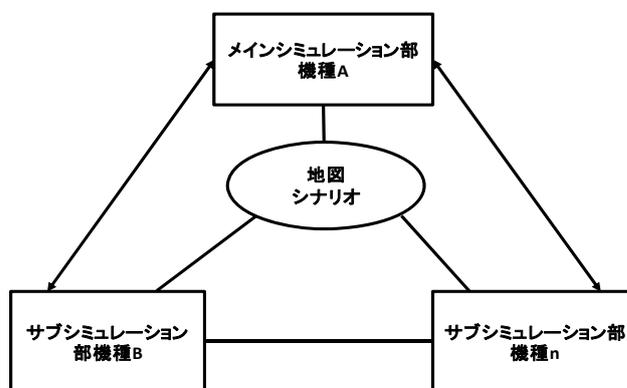


図4 ネットワーク型ドライビングシミュレータ

は図4に示すように地図を共有し、お互いに影響しながらシミュレートを行う。

3.2 交通シミュレータ

マルチエージェント型の交通シミュレータ((株)スペースタイムエンジニアリング製 Scenargie® (シナジー))を利用し、車両モデルとドライバモデルを分離した上で実現する。

3.3 統合ドライビングシミュレータ

開発中の統合ドライビングシミュレータは、ネットワーク型ドライビングシミュレータと交通シミュレータを疎結合方式により連携・接続している(図5)。

統合ドライビングシミュレータ上のすべてのシミュレータは、地図情報を共有し同一の単位時間ごとにシミュレーション内容を同期するため、1つのシミュレータとしてシミュレートを行っているように見なすことができる。

共有している地図上では、ネットワーク型ドライビングシミュレータにより操作されるエージェントと、交通シミュレータにより制御されるエージェントが再現されている。

表 1 ドライバごとの特長

	加速度	反応速度
若者(慎重派)	緩やか	緩やか
若者(過激派)	速やか	速やか
年長者(慎重派)	緩やか	緩やか
年長者(過激派)	速やか	緩やか

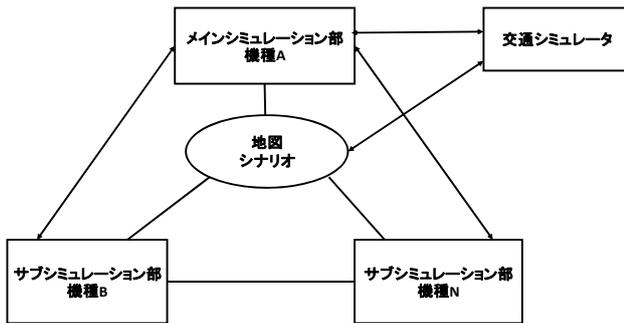


図 5 統合ドライビングシミュレータ

3.4 課題

統合する上での課題は大きくは以下の3点である。

- (1) 共有地図の作成
 視覚を重視するドライビングシミュレータと、属性を重視しなければならない交通シミュレータと目的により地図は異なる。これを簡易的に変換する取り組みなどが実施されている[8].
- (2) ネットワークトラフィックの削減
 交通シミュレータ上のエージェントは膨大な数になる可能性があり、これらのエージェントの情報がすべてネットワーク上に流れると輻輳崩壊の可能性もある。そのためのデータ削減手法の研究もある[9].
- (3) マルチエージェント動作モデル
 本論文ではエージェントの動作モデルをどのようにして作成するかに関して方式を提案する。

4. エージェント動作モデル

統合ドライビングシミュレータで共有される地図では、ドライビングシミュレータから操作されるエージェントと、交通シミュレータで制御されるエージェントが混在している。交通シミュレータにより再現されるエージェントは動作モデルに従って行動するため、動作モデルは人間的な挙動を行えるものにする必要がある。

本節では、人間的なエージェント動作モデルを再現するために必要となる要求を洗い出し、その要求を満たす手法の提案をする。

4.1 要求定義

交通シミュレータ上のエージェントを実際の車同様にすることが大きくは要求になる。具体的には以下に示す3点を満足すれば良い。

- (1) 加減速の動作はドライバーの性格ごとに分けてドライビングシミュレータのログと比較して作成し、で

きるだけ実際の人に近い動作とする。

- (2) 一定の割合で不注意が発生するようにする。実際の運転環境では事故が発生する要因の90%以上が不注意によると言われているためである。前方の確認をしない、後方の確認をしないなどを入れることによりシミュレータ上でも事故を発生させても良いとする。
- (3) 右折やレーンチェンジに関しても余裕の程度は人によって違うため、これもドライビングシミュレータのログを解析し、ドライバモデルにあわせる。

4.2 提案手法

各要求を以下に示す方式で実装する。

- (1) 各エージェントの加減速はドライビングシミュレータのログをベースに図6に示すフローで作成する。作成の際に、様々な人を被験者としてログを収集し、平均するのではなく、特長を分けて、この割合を変更できるようにする。
 特長としては、加速度、信号機や周辺車両などに対する反応速度をパラメータとして抽出する。
 表1に若者のドライバーと年長者のドライバーから得られる特長を示す。また表1中で、安全運転を心

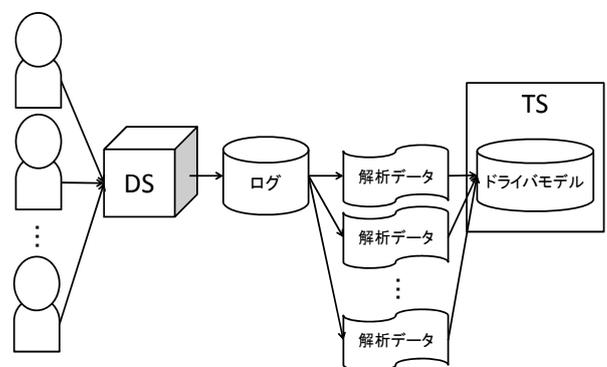


図 6 ログからドライバーの特長を抽出

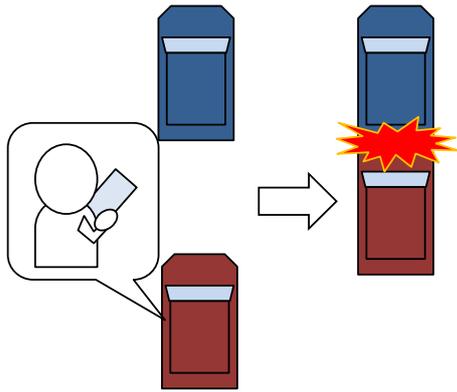


図7 ドライバの不注意運転による危険

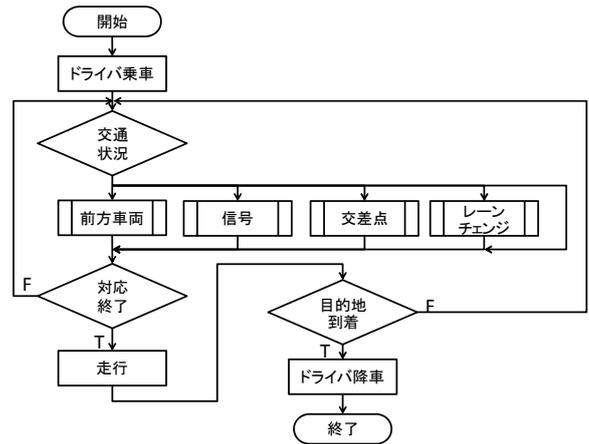


図8 交通シミュレータのエージェント動作全体フロー

表2 ドライバごとの特長

	右折	レーンチェンジ割り込み
若者(慎重派)	長い	長い
若者(過激派)	短い	短い
年長者(慎重派)	長い	長い
年長者(過激派)	短い	短い

がけるドライバーを慎重派、安全よりも速度を重視するドライバーを過激派とする。図6にドライビングシミュレータ(図中DS)から得たドライバーの特長を交通シミュレータ(図中TS)のドライバーモデルに組み込むまでの一連の流れを示す。

- (2) 不注意率は、スマートフォンやカーナビなどの情報機器の操作時間を想定する。この前方を見ない時間は、ドライバーは前方車両が操作の直前に見た時のまま動作しているものとしてエージェントは動く。この不注意時間は可変とすることで周辺車両の不注意状況などが変わる。実際には被験者の画面注視時間に合わせると、すべての車両が同一のUIを持つ情報機器を搭載していると見なせるが現実的にはありえないため、周辺車両に関しては模擬的に可変として様々なパラメータで評価可能なようにする。
- (3) 右折、レーンチェンジ割り込みのできる他車両との距離をモデル化する。(1)と同様にドライビングシミュレータのログを収集・解析する。表2に示すようにドライバーの特性に応じてエージェント

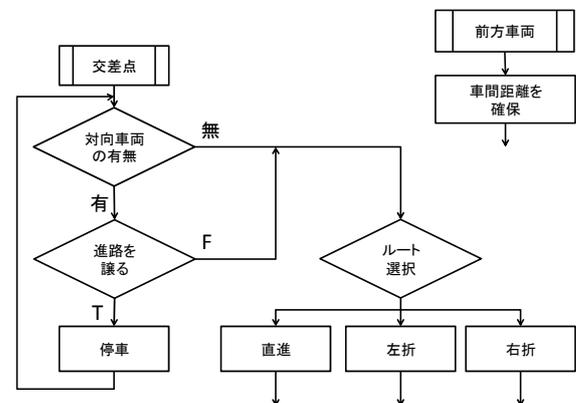


図9 交通シミュレータのエージェント追従動作フロー

を作成する。ドライバーの構成は可変の比率に応じて生成するようにするため、ドライバーからは他の車両を見ても予想できない状態になる。

4.3 実装

交通シミュレータのドライバーモデルに提案手法で示したパラメータを追加する。まず、交通シミュレータが標準で提供しているエージェント動作モデルの基本ロジックを図8, 9, 10に示す。

図8ではエージェントは交通状況に対して状況判断を実行し、状況に応じた挙動を決定する。交通状況に応じた挙動をすべて決定した後に走行する。これを目的地に到着するまで繰り返す。

図9, 10では図8で実行する状況判断の処理の流れを示す。図9中の右上が前方車両に対応する車間距離判断、左下が交差点に対応する右左折判断である。前方車両に対応する判断では、ドライバーが前方車両を確認した場合、ドライバーにあらかじめ設定されている車間距離を確保するよう

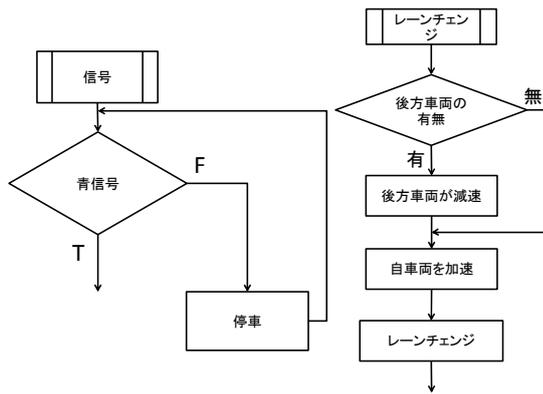


図 10 交通シミュレータのエージェント
 信号処理，レーンチェンジフロー

に動作する。交差点に対応する処理では，交差点に進入した際に対向車両の有無を確認，対向車両がいる場合とない場合の動作を決定する。

図 10 で右半分にレーンチェンジに対応する処理，左半分に信号に対応する処理を示す。既存の処理ではレーンチェンジの際に後方車両の有無に関わらず加速してレーンチェンジを行うため，後方車両から与えられる影響はほとんどない。このことは，交通シミュレータ上のエージェントはすべて CPU が制御するため，エージェント同士はお互いの挙動を把握していることが影響している。つまり，後方車両は相手車両がレーンチェンジすることを知っているため減速し，レーンチェンジする車両は後方車両が減速することを知っているため，やり過ぎかどうかを考えずに加速してレーンチェンジを行う。そのため，後方車両の有無が与える影響は，レーンチェンジを行う際の加速度を調整する程度である。しかし，現実には，後方車両の速度などを確認するため，レーンチェンジができにくい場合がある。そこで後方の車両に対しても確認する処理を実行し，減速してのレーンチェンジも可能とする。

ドライバーが信号を確認した際に青信号以外であった場

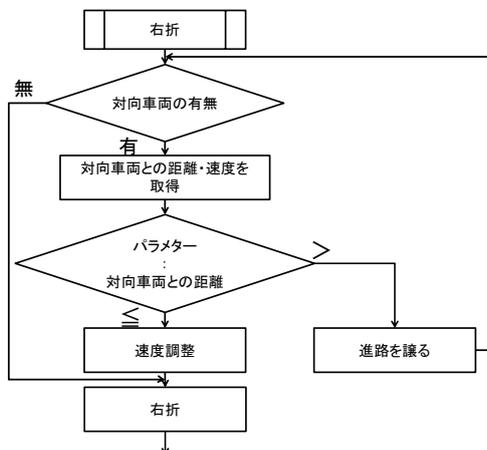


図 11 提案手法を取り入れた右折処理フロー

合，青信号になるまで停車し続ける。しかし，急ぐドライバーと年長者などののんびりドライバーとは明らかに挙動が違う。こういったことも再現することにより，実際の運転に近い状況を再現する。

次に，基本ロジックに本論文の提案手法を取り入れた提案ロジックを図 11，12，13，14，に示す。

図 11 でドライバーの特長を取り入れた右折に対応する処理を示す。右折をする際に対向車両がいた場合は，ドライバーが右折するのに必要な距離と対向車両との距離を比較し，右折可能な距離があれば速度を調節して右折する。このロジックは図 9 の右折処理の拡張であるため，提案手法を取り入れたエージェント動作モデルの交差点処理では，右折を除いた直進と左折をルート選択肢とする。

図 12 でドライバーの特長を取り入れたレーンチェンジに対応する処理を示す。既存の処理と異なる点として，後方車両の挙動を考慮している点が挙げられる。このロジックでは，ドライバーがレーンチェンジに必要なとする距離（パラメーター）と後方車両との距離を比較し，レーンチェンジを行うかどうかを判断する。レーンチェンジを行う際には後方車両の速度を考慮した速度調整を行う。

図 13 でドライバーの特長を取り入れた信号に対応する処理を示す。既存の処理では青信号か否かで判断していたが，このロジックでは青・黄・赤信号のそれぞれに対応している。青信号ならばそのまま走行し，赤信号ならば必ず停車するが，黄信号のときはドライバーによって走行するか停車するかの判断が異なる。

図 14 では 4.2 節の (2) で述べた不注意率に対応する処

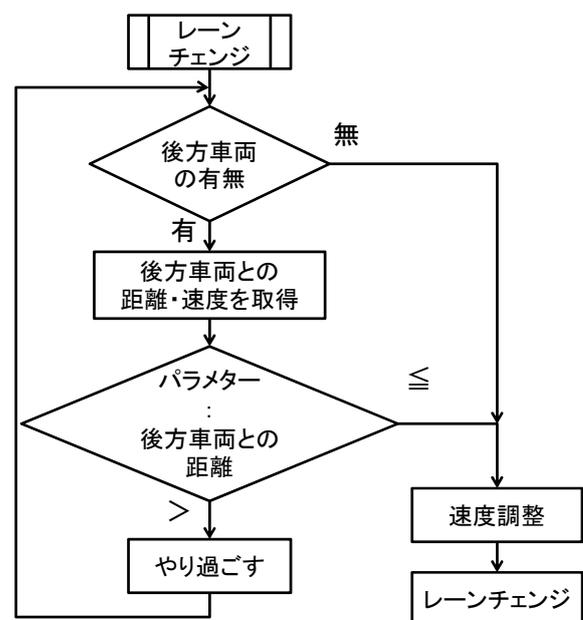


図 12 提案手法を取り入れたレーンチェンジフロー

理を行う。情報機器を操作する場合は、それぞれの交通状況に応じた挙動を決定する。図14中の操作時間は不注意時間と同義である。操作時間の設定や操作するしないの決定は、パラメータ化したドライバーの特長をもとに計算する。また、前方車両がいる場合の操作時間は、前方車両との距離や自車両の速度にも影響される。

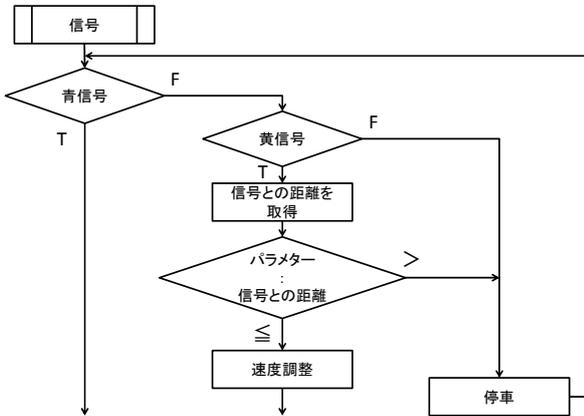


図13 提案手法を取り入れた信号処理フロー

5. 評価実験

統合ドライビングシミュレータとしての要求は、現実に近い環境での情報表示端末の評価にある。そのため、現実に近い環境下で、被験者が事故を起こさずに運転しようとした場合の情報表示端末の操作性の評価と逆に、被験者が事故を起こさないような情報表示ができていないかという点が重要となる。こういった評価ができるためのプラットフォームとして、実在の車同様に、他のドライバーの状況を見て、判断して運転できる環境が重要となる。こういった環境が実現できているかどうかの評価を行うために以下の実験を行う予定である。

ゆえに本節では、想定する実験の内容とその実験結果の予測について述べる。

5.1 実験内容

前述のとおり、実験では実際の交通状況を再現する必要があるため以下の条件を満たす実験内容を設定する。

- (1) 年齢層は若者から年配者まで幅広いものとする。また、安全運転を心がけるドライバー（慎重派）と速度を重視するドライバー（過激派）は、年齢層に関わらず同じ割合で存在するように設定する。

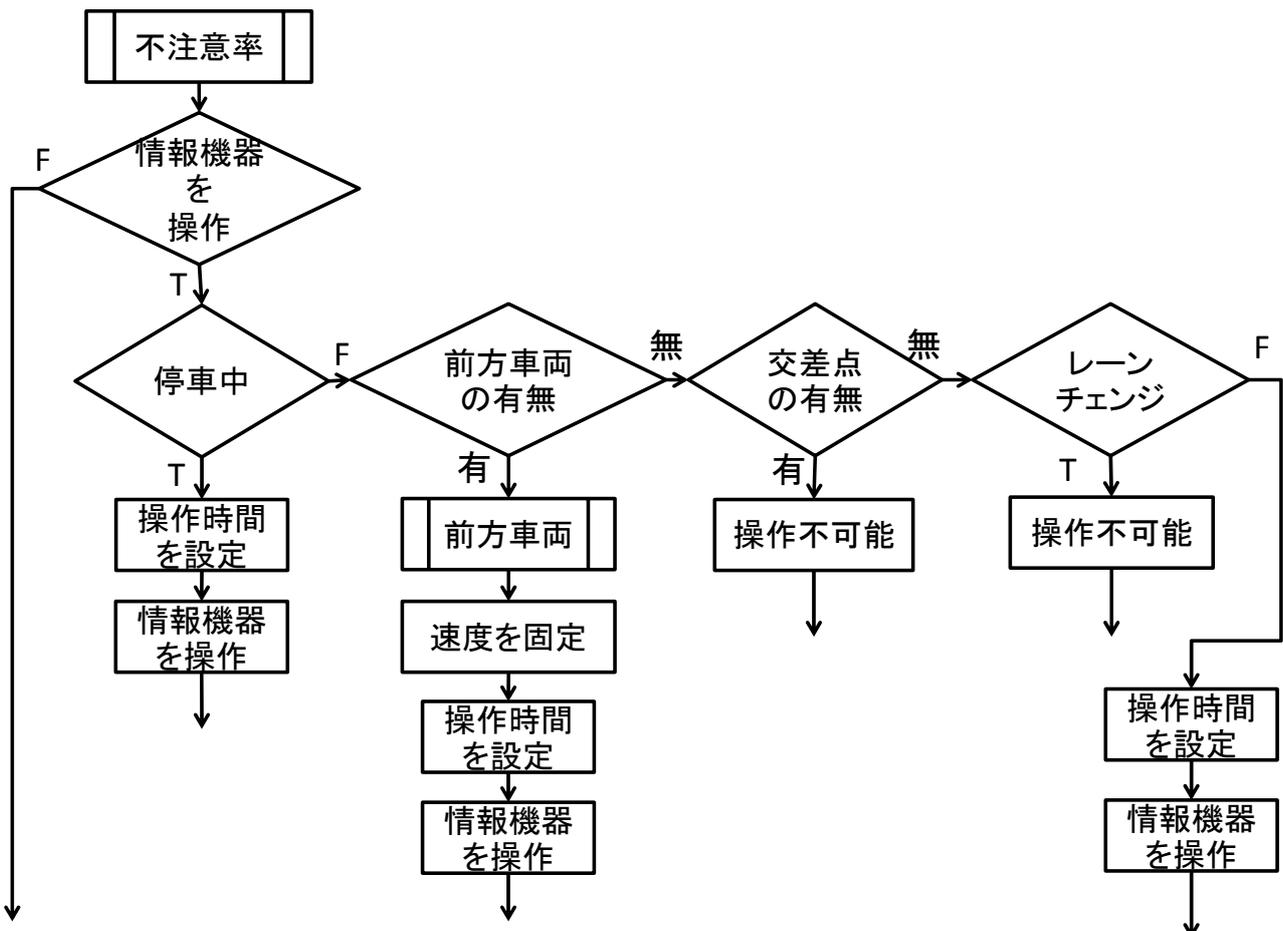


図14 エージェントの不注意動作モデル

- (2) 車両を多く設置し、小規模の渋滞が発生する箇所を作る。
- (3) 交差点を複数設置して多様な交通状況の作り出し、迅速な判断・柔軟な対応が必要となる場面を増やす。
- (4) あまり複雑な地図にする必要はないため道路数や車線数は必要な分だけ確保する。
- (5) 歩行者は設置せず車両とドライバのみを生成する。
- (6) 市街地を想定した地図を作成する。

本提案法手法では歩行者に対するエージェント動作を提案していないため実験では歩行者を設置しないが、歩行者の行動は交通状況の変化に多大に影響するため、今後は歩行者の多い少ない、飛び出ししやすさなども考慮していく予定である。

直線が長くスピードの変化やハンドル操作の少ない高速道路や自動車道に比べ、交通状況の変化が激しくハンドル操作や周辺の確認が欠かせない一般道のほうが実験に適するため、市街地を想定する。

5.2 実験結果予測

5.1 節の条件を満たす実験で得られるであろう結果を予測する。

- (1) 各ドライバの性質が表れやすい実験条件を設定しているため、表1や表2のような年齢や運転の慎重派・過激派の違いがわかりやすく現れると考えられる。
- (2) 渋滞が発生した箇所ではドライバごとの反応速度の違いが見られると考えられる。反応速度の違いによって渋滞が長くなったり事故が発生したりする可能性もある。
- (3) 信号の有無や車線数などにより多種類の交差点が設置できるため、それぞれの状況に応じて同じドライバでも異なる挙動が見られると考えられる。
- (4) 複数車線の道路ではレーンチェンジが行われることがあるだろうが、頻繁に行われることはないと考えられる。なぜなら、市街地には長い距離の直線道路は少ないため、頻繁にレーンチェンジを行うと事故を起こす可能性があるからである。

- (5) 歩行者がいいため交通状況はそれほど複雑化していないが、現在の本研究の提案法手法を評価するには十分であると考えられる。

- (6) 市街地を走行するため、車間距離は広くなく速度も速くはないと考えられる。

6. おわりに

本論文では、シミュレータ環境で車載器などのUI評価を目的とした統合ドライビングシミュレータを構築するため、交通シミュレータのエージェント動作モデルを拡張するためのドライバモデルを提案した。このドライバモデルをもとに交通シミュレータ上に実装する必要があり、現在は実装途中である。

想定した実験では歩行者を配置していないが、実際の道路には歩行者や自転車などが存在するため、これらも考慮した実験・評価が必要である。

参考文献

- 1) 総務省, "平成26年度版 情報通信白書 車とICT," <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h26/html/nc141320.html>, 2015/11/7 アクセス
- 2) Yoshio Kano, Takeshi Andoh, Shinsuke Akiyama, Masato Abe, "Networked Driving Simulators for Investigation into Interactive Behaviors among Driver-Vehicle-Systems in Road Traffic Accidents", FAST-Zero'11 Proceedings, TS3-8-1-3, pp.1-6, 2011
- 3) 清原良三, 兵藤俊介, 福山大輔ほか, "統合ドライビングシミュレータの検討," 情報処理学会研究報告 2014-ITS-57(2), 2014
- 4) 金子哲也, 大口敬, 飯田克弘, 渡邊亨, "ドライビング・シミュレータを用いた追従挙動特性の研究," 土木計画学研究・講演集(足利工大), 2000
- 5) 藤井秀樹, 吉村忍, "安全運転支援システム評価のためのマルチエージェント交通流シミュレーション," 第24回人工知能学会全国大会, 2010
- 6) 加納誠, 白石智良, 丸岡勝幸ほか, "ドライバーモデル挙動モデルの開発," ITSシンポジウム2005
- 7) 中村慎吾, 井手口哲夫, 田学軍, 奥田隆史, "異種シミュレータ連携による統合シミュレータ構築の検討," 第9回情報科学フォーラム
- 8) 兵藤俊輔, 福山大輔, 清原良三, "統合ドライビングシミュレータにおける地図共有," 情報処理学会研究報告 2015-ITS-59, 2015
- 9) 福山大輔, 兵藤俊輔, 高取祐介, 狩野芳郎, 清原良三, "車載情報機器評価のためのシミュレータ間通信量の削減方式," 情報処理学会研究報告 2014-ITS-58, 2014