

エージェントベース統合交通流シミュレーションにおけるメンタルモデルの開発環境構築に関する研究

品川 輝 安藤 崇央

交通流シミュレータとシミュレータ外部の ITS サービスの実装とを接続し、ITS サービスが社会に与える影響を確認するための環境整備として、統合交通流シミュレーション環境の構築に関する研究が行われている。本研究では環境整備の一環として、シミュレーション上の移動体が ITS サービスから情報を受ける際、その情報をもとにどのように振る舞うべきかを判断する機能を数理モデル化し、メンタルモデルと呼ぶその数理モデルをシミュレータ外部で記述可能とした。

1 はじめに

1.1 研究背景

近年、高度道路交通システム (Intelligent Transport Systems : ITS) サービスの発展により、ITS サービスが社会に与える影響を確認する必要性が生じている。ITS サービスの効果の確認方法として交通流シミュレーションの実施がなされている。

ITS サービスの効果を確認する際、交通流シミュレータ上で動作する ITS サービスの挙動を模したモデルの作成が必要であり、シミュレーション環境の構築にコストがかかる。そのため、ITS サービスの実装自体を交通流シミュレータと接続できるような統合交通流シミュレーション環境を構築することで、シミュレーション実施のコストを削減する研究が行われている [1]。

1.2 研究目的

本研究の目的は、先行研究で開発された統合交通流シミュレーション環境を整備し、メンタルモデルと呼ぶモデルの導入を行うことである。メンタルモデルとは、移動体が ITS サービスから情報を受けた際、その情報をもとに移動体がどのように振る舞うかを判断する機能を数理モデル化したものである。

1.3 関連技術

1.3.1 交通流シミュレータ

交通流シミュレータとは、交通流すなわち車両や船舶、歩行者などの移動体に関する動きを模擬し、移動体の流れを観測するソフトウェアのことである。交通流シミュレータはシミュレーションを行う粒度によってマクロ交通流、ミクロ交通流、サブミクロ交通流に分類できる。マクロ交通流シミュレータでは流体として扱う交通量を、ミクロ交通流シミュレータでは個々の移動体の振る舞いにまで、サブミクロ交通流シミュレータでは移動体を構成する要素の振る舞いにまで詳細化し、シミュレーションを実施することを表現している。

1.3.2 SUMO

SUMO (Simulation of Urban MObility) [2] は、ドイツ航空宇宙センター (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt : DLR) が主に開発を行って

Construction of Development Environment for Mental Model in Agent-Based Unified Simulation Environment

Hikaru Shinagawa, Takahiro Ando, 群馬大学理工学府 理工学専攻, Department of Science and Technology, Graduate School of Science and Technology, Gunma University.



図 1 本システムの構成要素の模式図

いるオープンソースの交通流シミュレータである。SUMO は道路や線路、航路などの上で個々の移動体の動きをシミュレートするマイクロ交通流シミュレータの1つである。SUMO では、シミュレータ上のオブジェクトに対して外部からアクセスするための API である TraCI [3] が提供されている。TraCI は TCP ベースの API であり、Python、Java、C++ など複数の言語がサポートされている。また、GUI (Graphical User Interface) 環境が存在し、シミュレーションを視覚的に確認できる。さらに、出発地点 (Origin) と目的地点 (Destination) の情報である OD 情報と道路ネットワークを入力し、出発地点から目的地点までの経路を自動的に算出するツールも提供されている。

1.4 関連研究

本研究の関連研究として、エージェントベース統合交通流シミュレーション環境の開発に関する研究 [1] について紹介する。

文献 [1] では、ITS サービスのためのエージェントベースの統合交通流シミュレーション環境 (Agent-based Unified Simulation Environment) を提案している。そこでは、ITS サービスを模したモデルをシミュレーションごとに作成するコストを削減するために、ITS サービスの実装自体を交通流シミュレータと接続できるような環境を構築することで、モデル作

成のコストを削減することを目指している。

エージェントベース統合交通流シミュレーション環境は、交通流シミュレータ上の情報を ITS サービスに提供し、ITS サービスからの情報をもとに目的地や目的地への経路の変更をシミュレーション実施時に行うことができるとしている。また、エージェントベース統合交通流シミュレーション環境が異なるシミュレータ同士を接続し情報を同期することで、異なるシミュレータを用いたシミュレーションを実施できるとしている。

2 システム概要

2.1 構成

本システムの構成を模式図で表すと図 1 のようになる。図 1 における移動体エージェントの付近にあるメンタルが本システムにて新たに追加したものである。以下では各構成要素について述べる。

シミュレータ

シミュレータは、統合交通流シミュレーション環境が接続する交通流シミュレータ部分をあらわす。本研究では交通流シミュレータとして SUMO を利用する。シミュレータ上には、オブジェクトとして自動車、歩行者、POI (Point Of Interest) などが存在する。シミュレータ部分の移動体は予め与えられた情報をもとにシミュレーションを行う。シミュレータ

自身が自発的に動的な挙動の変更を行うことはない。

ITS サービス

ITS サービスは、現在時刻や移動体の現在地情報、POI の情報などをもとに、ユーザーにとって有益な情報を提供するサービスのことである。ITS サービスの具体例として、カーナビゲーション、乗換案内、電車やバス等公共交通機関の現在走行位置や到着予想時刻等を知らせるロケーションシステムなどが存在する。

統合環境

統合環境は、シミュレータ及び ITS サービスとの接続を仲介する部分である。統合環境の役割は、シミュレータ及び ITS サービスから情報を受け取り、シミュレーションの制御指示及び情報を提供する。

2.2 メンタルモデル

統合交通流シミュレーション環境では、シミュレータ上の移動体は一般にシミュレータ外部の複数の ITS サービスを利用できる。移動体オブジェクトが仲介役の移動体エージェントを介して ITS サービスを利用すると、ITS サービスが応答として返す推薦情報がその移動体エージェントに渡される。推薦情報を受けた上で移動体オブジェクトがどのような挙動を行うかは、移動体エージェントに付随するメンタルモデルで判断する。メンタルモデルは車両などの移動体の運転手の思考を模したモデルで、ITS サービスからの情報を取捨選択する役割を担う。

3 システム設計

本システムのアーキテクチャ図を図 2 に示す。本節では各構成要素について述べる。

3.1 シミュレータ上のオブジェクト

POI はシミュレータ上に存在する興味関心の対象となるオブジェクトである。POI の例として、交差点や駐車場、ガソリンスタンド、サービスエリアなどが挙げられる。POI の情報は POI Agent を経由して ITS サービスに提供される。駐車場の POI が持つ情報の例として、駐車場の住所、駐車可能台数、現在駐車している車両の台数、駐車料金、入出庫可能時間な

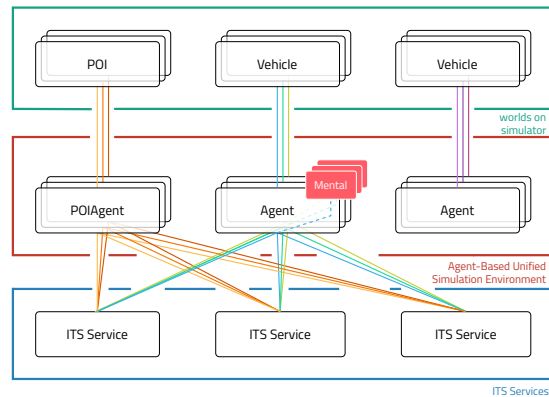


図 2 統合交通流シミュレーション環境のアーキテクチャ図

などが挙げられる。

Vehicle はシミュレーション上の移動体オブジェクトである。移動体オブジェクトはシミュレーション時に予め与えられた情報をもとに移動する。また、Agent が移動体オブジェクトの情報を変更した際、変更した情報に応じて移動体の挙動を変更する。

3.2 POI Agent

POI Agent は、シミュレータ上で生成された POI 情報を取得し、ITS サービスに POI 情報を提供する。POI Agent は POI 情報を ITS サービス向けに提供する API のようなものである。

POI Agent の主な機能には以下のものがある。

- POI 情報の取得
- POI 情報の提供

3.3 Agent

Agent は、移動体オブジェクトの情報の取得や変更等を行う。Agent は移動体の運転手を模したものである。Agent には ITS サービスと接続するものと接続しないものの両方が存在する。

Agent の主な機能には以下のものがある。

- 移動体オブジェクト情報の取得
- 移動体オブジェクト情報の変更
- ITS サービスの利用
- ITS サービスからの応答に対する判断

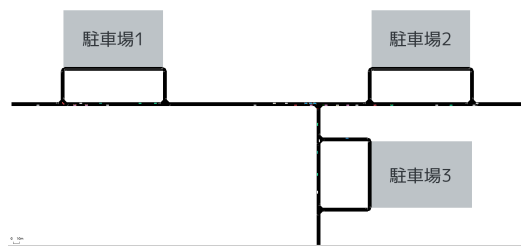


図 3 シミュレーション対象の道路ネットワーク

3.4 Mental

Mental は、本研究で導入したメンタルモデルを実装したものである。Mental は移動体の運転手の思考パターンを模したものである。Mental は一部の Agent に付随する。

Mental の主な機能には以下のものがある。

- ITS サービスから受け取った情報を整理する
- 整理した情報をもとに判断を下す

3.5 構成要素間の情報の授受

シミュレータと統合環境間の情報は TraCI を用いて授受する。また、統合環境と ITS サービスの情報はソケット通信を用いて授受する。

4 システムの実装と動作確認

Python で実装した統合交通流シミュレーション環境を用い、複数の ITS サービスを接続しシミュレーションを実施した。

まず、シミュレーションの実施において、必要なものを準備した。具体的にはシミュレーションの対象とする範囲の道路ネットワーク、移動体や POI の情報、影響や効果を調べたい ITS サービスの実装を用意した。

4.1 シミュレーション対象の道路ネットワーク

シミュレーション実施の適用対象とした道路ネットワークは図 3 のとおりである。図 3 における黒色で描画されたエリアは道路である。図 3 において、灰色で描画されたエリアは POI である駐車場を表現している。

4.2 POI の情報

POI として駐車場を作成した。駐車場に駐車している台数や駐車場の駐車可能台数などの POI 情報をエージェントを介して ITS サービスに提供する。

4.3 車両の情報

車両の ID、出発地点及び予め設定する経路などの車両の情報は、duarouter という SUMO に付属するジェネレータを用いて作成した。用意した道路ネットワーク、車両の出発地点及び到着地点と車両の数を duarouter への入力データとした。

予めいずれかの駐車場に向かうように設定された車両の数は 1000 台、駐車場に向かわないように設定された車両の数は 500 台であり、0 ステップから 3600 ステップのいずれかのステップで生成される。

ITS サービスを利用し、メンタルモデルによる処理を行った車両に対して車両の色を変更するようにした。

4.4 ITS サービス

構築したシミュレーション環境で、検査対象とする ITS サービスの一例として、簡易的な駐車場推薦サービスを自作した。各 ITS サービスは統合交通流シミュレーション環境から駐車場の POI 情報を受け取り、情報を更新する。

ITS サービスは、MobileAgent から推薦情報の提供を要求された際、推薦情報の算出を行う。推薦情報は、駐車場の POI 情報をもとにその駐車場をどの程度の度合いで推薦するかを算出する。その度合いは、0 以上 1 以下の値とし、値が 1 に近いほどより強く推薦するものとする。これを ITS サービスが取り扱う各駐車場に対してそれぞれ算出し、それらをまとめたものを推薦情報として返答する。

4.5 メンタルモデルが行う処理

メンタルモデルが行う処理は、ITS サービスから受け取った各推薦情報に対して重み付けを行い評価値をそれぞれ求め、それらの評価値をもとにどの選択肢を選び、どう振る舞うのがよいのかを判断する。

推薦情報の重み付け

ITS サービス i における推薦対象 j の推薦値を e_{ij} 、ITS サービスに対応する重み付け関数を w_i とするとき、

$$v_{ij} = w_i (e_{ij})$$

を評価値とする。

判断

上記の重み付けにより算出した評価値 v_{ij} をもとに、どの選択肢を選択するか決定する。選択肢の選択方法として、利用した各 ITS サービス i からの評価値 v_{ij} を合計し、推薦値が提供されたサービスの数 S_j で割った

$$V_j = \frac{1}{S_j} \sum_i v_{ij}$$

を各推薦対象 j で比較し、値が最大となった推薦対象 j を判断結果とする。この方法を合計値最大値型と定義する。

また、選択肢の他の選択方法として、各 ITS サービス i からの評価値 v_{ij} が最大値となる推薦対象 j を判断結果とする。この方法を最大値型と定義する。

システムの動作確認結果

システムの動作確認のため、ITS サービスを利用した車両に関して車両の色を変更するようにした。また、メンタルモデルによる処理が実施された回数を集計した。

シミュレーションを行う時間は 4000step とした。駐車場に向かう 1000 台の車両全てが ITS サービスを利用し、メンタルモデルによる処理を行うようにした。

車両が ITS サービスを利用し、メンタルモデルによる処理を実施した結果の一例を図 4 に示す。図 4 において赤色の枠で囲んだ青色の車両は、次のステップで車両の色が桃色に変化した。ITS サービスを利用し、メンタルモデルによる処理を行った結果、駐車場 1 を目的地に再設定した。また、メンタルモデルによる処理が実施された回数は 1000 回であった。上記の結果より、メンタルモデルを導入したシミュレーションが期待通りに動作していることが確認できた。

5 評価

4 節で実装したシミュレーションに関してシミュレーションの実行時間を計測した。評価は SUMO が提供している CUI (Character-based User Interface) のシミュレータを使用することで実施した。1000 台の車両が ITS サービスを利用する割合を 0% から 100% まで 10% ずつ変化させ、それぞれ 10 回ずつ計測した。シミュレーションの実行時間の計測結果のグラフを図 5 に示す。各 ITS サービス利用率 x におけるシミュレーション実行時間 $y[s]$ の平均値を 1 次近似した式は

$$y = 0.268x + 4.5851$$

となる。車両 1 台が ITS サービスを利用し、メンタルモデルによる処理を実施した際、平均 0.0268 秒の処理時間がかかった。したがって、メンタルモデルを導入することによって生じるオーバーヘッドは小さく、シミュレーション上実用可能なものであると結論付けた。

6 まとめ

本稿では、複数の ITS サービスから受け取った情報に対してメンタルモデルが判断を担うように統合交通流シミュレーション環境の拡張を行った。メンタルモデルの実装を行い、メンタルモデルを導入したシミュレーションを実施した。その結果、メンタルモデルを導入したシミュレーションが期待通りに行われていることが確認できた。また、メンタルモデルを導入した環境下でシミュレーションの実行時間を計測し評価を行った。その結果、導入したメンタルモデルは、シミュレーション上実用可能なものであると結論付けた。

本研究における今後の課題として、メンタルモデルを簡単に差し替えられるような環境を構築することや、1 つの移動体が複数のメンタルモデルのインスタンスを持ち、どのインスタンスを採用するかを決定するようなメンタルモデルの実装をすることなどがあげられる。これらの課題を解決することで、より複雑な判断が実装できると考える。

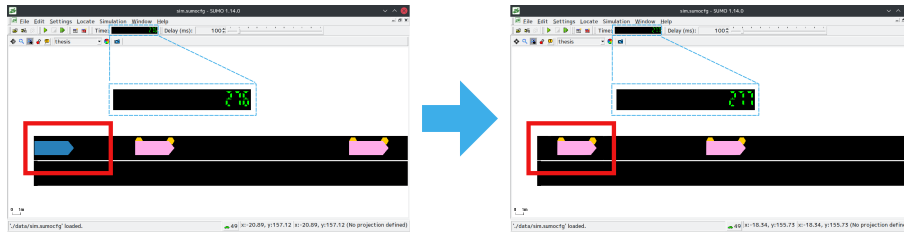


図 4 ITS サービスを利用し、新たな目的地を目指す車両

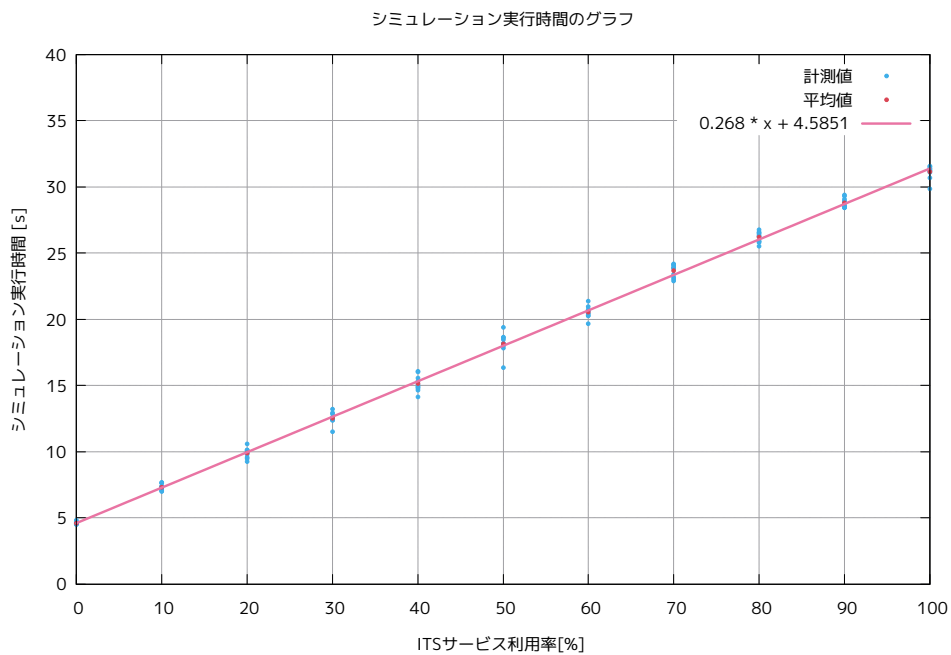


図 5 SUMO の CUI シミュレーションの結果のグラフ

参考文献

[1] Ryo Fujii, Takahiro Ando, Kenji Hisazumi, Tsunenori Mine, Tsuneo Nakanishi, and Akira Fukuda. *Architecture and Development of Agent-Based Unified Simulation Environment for ITS Services*, chapter Part II ITS-Based Smart Mobility, pp. 227–246. Springer, 2019.

[2] Daniel Krajzewicz, Jakob Erdmann, Michael Behrisch, and Laura Bieker. Recent development and applications of sumo-simulation of urban mobility. *International journal on advances in systems and measurements*, Vol. 5, No. 3&4, 2012.

[3] German Aerospace Center (DLR) and others. Traci. <https://sumo.dlr.de/docs/TraCI.html>, 2023.