

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月21日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009年～2011年

課題番号：21700161

研究課題名（和文）大規模交通シミュレーションのための人間行動モデリングの研究

研究課題名（英文）Research on human behavior modeling for massively multi-agent traffic simulation

研究代表者

服部 宏充 (HATTORI HIROMITSU)

京都大学 大学院情報学研究科・助教

研究者番号：50455581

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、人間の行動を詳細に表現する細粒度の行動モデルの大規模な集積に基づくマルチエージェントシミュレーションを実現するための技術と、具体的な計算基盤の開発である。本研究では、まず人間の行動を説明する先験的知識に基づく個別性を持った行動モデルの構築手法を開発した。次に、細粒度の行動モデルを多数実行可能な大規模マルチエージェントシミュレーション基盤を設計、構築した。そして、それらの成果に基づいて京都市で行われた社会実験の再現を行った。

研究成果の概要（英文）：

It is becoming obvious that I must work on two conflicting research directions for realizing multi-agent social simulations; elaborating fine-scale human behavior models and creating large-scale simulations. The objective of this research is to show how to achieve massive multi-agent simulations with fine-grained levels of human behaviors. In terms of the research objective, I first developed a method for constructing an individual model with prior knowledge to explain human behaviors. Next, I designed and constructed a massive multi-agent simulation platform that can run a number of agents with fine-grained behavior model. Finally, I tried to simulate the social experiment held in the city of Kyoto in 2007 on the constructed simulation platform.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：エージェントシミュレーション, 人間行動モデリング, 交通シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

近年、計算機シミュレーションが社会科学と結びつき、複雑な社会現象の再現、理解、

予測を指向する学際的研究領域を形成している。多数かつ多様な行動主体から成る社会を計算機上に再現するため、社会の規模と行

動主体の個別性を再現する計算機科学技術の研究開発が求められてきた。この要請に対し、マルチエージェントシミュレーション (MASim: Multi-Agent Simulation) が有望な分野として活発化している。MASim は具体的な応用領域への適用が進みつつあり、人工市場による経済分析、建物内における人流の解析、さらに Scientific American 誌上で示されたような感染症対策への適用など種々の事例が示されてきていた。これらの研究においては、簡潔なモデルの大規模な相互作用から創発される現象の複雑さの計算と解析、および解釈に主眼が置かれていたと言える。つまり、人間が個々に持つ特徴を捨象し、基本的な行動メカニズムに絞り込んだ粗粒度の行動モデルを一様に割り当てた多数のエージェントの相互作用から生じる現象を再現し、社会現象を抽象的な視点から分析・理解しようとする立場である。しかし、実世界における人間の振る舞いは決して一様ではなく、それぞれ異質な主体であるというのも、実世界における自然な見方であると考えられる。本研究は、人間の行動を細粒度のモデルで表現するマルチエージェントシミュレーションの実現を試みるもので、それまでの研究とは正反対の接近法を採ったものである。

2. 研究の目的

本研究では、具体的な問題領域として都市交通を設定した。これは、交通が、都市計画、環境など多くの問題の根幹を成す重要な社会システムであり、また多様な運転者行動の集積が生み出す交通現象は理解と予測が困難という課題を抱えているからである。本研究は、人間個々の運転行動を計算モデル化し、モデルから得られる行動の集積に基づくボトムアップな交通現象の再現を図るものだが、より具体的には以下のような研究開発を目的とした。

(1) 参加型モデリングの援用に基づく人間の運転行動の計算モデル化

ユーザ参加型の交通シミュレーションに基づく、人間の運転行動データの収集、および分析手法を考案した。人間の現実的な運転行動データを得るためには、実際の交通環境下での行動観察が必要だが、都市交通は常に環境が変動するシステムであるために実験・観察には障害が多く困難である。本研究では、参加型モデリング技術の援用による運転行動データの収集と分析を行った。具体的には、仮想環境におけるシミュレーションに被験者である人間が“参加”し、行動データの取得を試みた。そして、取得データを基に、行動の解釈を抽出、形式化し、計算モデル化するプロセスを確立した。

(2) 大規模マルチエージェントシミュレーション基盤の設計と構築

既存の交通シミュレータは、例えばセルオートマトンをベースにしたものなど、行動の個別性を陽に表現する性能を持たないものが多い。そのため、人間の運転行動を詳細に再現する行動モデルを構築しても、ふさわしい計算基盤が存在しない事が問題となる。そこで、本研究では、細粒度の行動モデルが機能し、また個々のエージェントが極短時間で行動選択 (意思決定) が可能な大規模マルチエージェントシミュレーションの基盤を設計、構築し、マルチエージェントに基づく都市交通シミュレーションの実施を試みた。

3. 研究の方法

(1) ルールベースの運転行動モデルの構築

3次元仮想空間上にユーザが参加可能な交通環境を再現し、ユーザ参加型のドライビングシミュレーションを実施し、人間の運転行動データを効率的に取得した。具体的には、アクセルの踏み込み量、ブレーキの操作量や、それらを基に計算される走行速度や加速度といったデータを、走行地点や走行時間に紐付けて記録した。また、被験者のデータ計測中の行動を動画データとして記録した。次に、被験者とのインタビュー、および会話分析に基づき、行動選択時の認知対象物を行動要因として抽出・形式化し、「原因 (行動要因) → 結果 (選択行動)」のルール形式で、人間の行動を解釈するための知識を蓄積する。そして、蓄積した知識を基に、一連の運転行動を説明可能な知識集合を生成し、個々の運転を再現するための運転行動モデルとする。

詳細なモデル化のプロセスは以下の通りである。

- ① 仮想道路環境を提供するドライビングシミュレータ上で走行シミュレーションを実施し、人間の運転行動ログを得る。
- ② 収集したログデータから、特徴的な行動がとられた箇所を特定する。
- ③ シミュレーションで観測された運転行動の理由・動機を明らかにし、ルール形式の先験的知識として抽出する。
- ④ 被験者の観測事象を述語論理に基づき形式的に記述する。
- ⑤ 先験的知識として抽出した運転行動ルールと観測事象に基づき、被験者の走行を説明可能な運転行動モデルを仮説推論のアルゴリズムに基づいて構築する。

(2) 大規模交通シミュレータの構築

細粒度の運転行動モデルに基づく多数のエージェントによる大規模交通シミュレーションの実行基盤を設計、開発した。本シミュレータの構築では、経路選択に関連した熟

考的な行動決定と、運転行動に関連した即応的な行動決定を行う機能を実現するエージェントを設計した。エージェントは、熟考が求められるシミュレーション環境、または即応が求められるシミュレーション環境に跨がって存在し、異質な意思決定をそれぞれのシミュレータで実行し、複雑かつ大規模な交通現象を集合的に生成する。このような計算を行う大規模計算基盤を、本研究の中でフルクラッチで構築するのは開発コストが大きい。そこで本研究では、マルチエージェント交通シミュレーションツールキット MATSim をベースとした開発方針を採った。MATSim はマルチエージェントモデルに基づき、各車両をエージェントとして表現レベルで個別化しており、スイス全土の交通を模擬可能なスケラビリティを持つ。一方で、エージェントを機能レベルで個別化する表現力は持たないため、細粒度の運転行動モデルの適用がシステム構成上不可能である問題があった。そこで本研究では、エージェントが、周辺環境情報に基づいて運転行動を決定可能とする運転行動の逐次決定機能を新規に実装し、外部モジュールとして接続することで、MATSim が本来備えている、エージェントの経路選択機能と連携動作可能とし、細粒度の運転行動を表現可能な大規模交通シミュレーションを実現した。

4. 研究成果

(1) 速度操作傾向を再現する運転行動モデルの構築

本研究では、人間の運転者の特徴抽出に関して、道路線形に対する反応の差異に着目した。そこで、仮想空間上に作られた高速道路上を被験者が単独走行したログデータから、個々の運転に関する特徴的な操作ルールの抽出、ならびに走行速度操作の傾向を再現可能な運転行動モデルの構築を行った。実験では、11km の仮想走行環境を走行した36名の被験者から、形交通の専門家の視点に基づいて特徴的操作と認める事ができ、かつ形式的な表現が可能な12の運転行動ルールを抽出し、それらのルールを基に個々の運転者の行動モデルを構築した。得られた行動モデルと、被験者の運転ログを比較した結果、0.9以上の相関値を得られるケースと共に、0.6程度のケースもあった。前者に関しては、人間とほぼ同様の速度操作が確認でき、道路線形に対する運転行動の模擬が十分にできたものと解釈できる。一方、後者の場合は、人間の速度操作が高頻度であったため、走行速度の模擬が難しい事が低い相関値の原因であった。しかし、この場合でも“高頻度のアクセルワーク”という運転行動自体は獲得モデルによって模擬ができていた事が確認できた。

ところで、本研究では、高齢者の若齢者での運転行動の差異の抽出と、その差異を模擬する行動モデルの構築に関する期待を持っていたが、その点については、成功はしていない。その原因が、獲得データの不十分に起因するのか、被験者の選別の不備か、または高齢者・若齢者の区別が不適切なのか、確たる結論を出せる段階に無く、さらなる研究が必要である。

(2) 統合型マルチエージェントシミュレーション基盤の構築

都市交通は多様な要素から構成されており、その全てをひとつのシミュレータで表現するのは難しい。本研究では、シミュレータの構成論として、全要素を内包するシミュレータを一度に構築するのではなく、要素を逐次投入し、その要素の影響を確認しながらシミュレータを充実させる方針に基づき、統合的なマルチエージェントシミュレーション基盤を構築した。技術的には、複数の異質なシミュレータに跨がるイベントハンドリングを行い、複数シミュレータの連携動作による大規模シミュレーション実現するシミュレーションコントローラ的设计、実装により、統合型のマルチエージェントシミュレーション基盤を実現している。具体的には、MATSim が本来可能としている道路ネットワークシミュレーションと、道路区間毎の車両挙動を計算する新規の道路シミュレーションを統合した、細粒度の行動モデルを適用可能なマルチエージェントシミュレーション基盤を実現した。

(3) 京都市における社会実験の再現

本研究では、京都市が検討した「歩いて楽しいまちなか戦略」の実現に向けた合意形成プロセスとして、2007年10月に実施された社会実験を、マルチエージェントシミュレーションによって模擬する試みを実践した。具体的には、主要道路のトランジットモール化や、歴史的細街路の歩行者専用道路化をシミュレータ上に設定し、混雑状況等の比較を行った。比較の結果、社会実験で交通量の増加がみられた主要道路に関して、同様の交通量の増加が確認でき、一定の再現性が認められた。しかし、実験では観測されなかった現象も複数確認され、モデル、もしくはシミュレーションの妥当性に関しては検討の余地がある事も分かっている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

① 服部宏充, 石田亨, 中島悠. 参加型シミ

- ュレーション. システム/制御/情報 (システム制御情報学会誌), Vol. 56, No. 2, pp. 84-89, 2012. 査読無 (解説論文)
- ②山根昇平, 澤田祥一, 服部宏充, 石田亨. ネットワークゲームに基づく参加型シミュレーション環境の構築. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 13, No. 3, pp. 59-66, 2011. 査読有
- ③Hiromitsu Hattori, Yuu Nakajima, and Shohei Yamane. Massive Multiagent-based Urban Traffic Simulation with Fine-Grained Behavior Models. Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), Vol. 15, No. 2, Fuji Technology Press, pp. 233-239, 2011. 査読有
- ④Kiyoshi Izumi, Keiki Takadama, Hiromitsu Hattori, Nariaki Nishino, and Itsuki Noda. Social and Group Simulation based on Real Data Analysis. Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), Vol. 15, No. 2, Fuji Technology Press, pp. 166-172, 2011. 査読有
- ⑤Hiromitsu Hattori, Yuu Nakajima, and Toru Ishida. "Learning from Humans: Agent Modeling with Individual Human Behaviors. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, Vol. 41, No. 1, IEEE, pp. 1-9, 2011. 査読有
- ⑥服部宏充, 中島悠, 加藤整, 石田亨, 山根昇平. 大規模マルチエージェント交通シミュレーション. 自動車技術, Vol. 64, No. 3, pp. 38-44, 2010. 査読無 (解説論文)
- ⑦服部宏充, 中島悠, 石田亨. 参加型モデリングに基づく運転行動モデル構築手法. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J92-D, No. 11, pp. 1927-1934, 2009. 査読有

[学会発表] (計6件)

- ①Yuu Nakajima, and Hiromitsu Hattori. Simulator Integration Platform for City Simulations. 14th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA-2011), Lecture Notes in Computer Science (LNCS 7047), pp. 484-495, November 17, 2011, Wollongong, Australia
- ②Yuu Nakajima, Shohei Yamane, Hiromitsu Hattori. Multi-model Based Simulation Platform for Urban Traffic Simulation. 13th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA-2010), Lecture Notes in Computer Science (LNCS 7057), pp. 228-241, November 15, 2010, Kolkata,

India

- ③Hiromitsu Hattori, Yuu Nakajima, and Toru Ishida. Modeling Individual Driving Behaviors for Multiagent Traffic Simulation. In the Proc. of the 6th Workshop on Agents in Traffic and Transportation (ATT-2010), pp. 5-11, May 11, 2010, Toronto, Canada
- ④Mario Paolucci and Hiromitsu Hattori. Traffic Simulations with Emotional Effects: A Proposal for Core Affect Contagion. In the Proc. of the 6th Workshop on Agents in Traffic and Transportation (ATT-2010), pp. 97-102, May 11, 2010, Toronto, Canada
- ⑤Yuu Nakajima, Yoshiyuki Nakai, Hiromitsu Hattori, and Toru Ishida. Citywide Traffic Simulation Platform with Precise Driver Model. 12th International Conference on Principles of Practice in Multi-Agent Systems (PRIMA-2009), Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI 5925), pp. 459-470, December 15, 2009, Nagoya, Japan
- ⑥Shohei Yamane, Shoichi Sawada, Hiromitsu Hattori, Marika Odagaki, Kengo Nakajima, and Toru Ishida. Participatory Simulation Environment gumonji/Q: A Network Game Empowered by Agents. The 12th International Conference on Principles of Practice in Multi-Agent Systems (PRIMA-2009), Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI 5925), pp. 416-427, December 16, 2009, Nagoya, Japan

[図書] (計1件)

- ①京都大学フィールド情報学研究会 編, 共立出版, フィールド情報学入門, 2009, 8章「マルチエージェントシミュレーション」

[その他]

関連ホームページ:

http://www.ai.soc.i.kyoto-u.ac.jp/traffic_sim_viewer.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

服部 宏充 (HATTORI HIROMITSU)
 京都大学・大学院情報学研究科・助教
 研究者番号: 50455581