

令和元年6月3日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15H01785

研究課題名（和文）実世界とシミュレーションの相互作用による双方向社会システムデザイン

研究課題名（英文）Bidirectional Social System Design by Interaction of Real World and Simulations

研究代表者

藤井 秀樹（FUJII, Hideki）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・講師

研究者番号：00597809

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 30,400,000円

研究成果の概要（和文）：現代社会の複合的重要課題の解決や問題の緩和に向け、新技術や社会制度を定量的にデザインし、社会実装に向けて利害関係者の合意形成を促進するための社会シミュレーションプラットフォームの開発に取り組んだ。特に自動車交通システムを中心とし、それを取り巻く都市の動態や電力システムとの連成モデルを提案した。実世界のデザインを指向すると同時に、シミュレーションモデルをデザインするために逆解析手法による入力データの推定アルゴリズムを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

複雑・複合的な社会現象をシミュレートするためには、単一のシミュレーションモデルの高精度化だけでなく、周囲のシステムとの相互作用を含めたモデルの構築が必要である。本研究の成果の一つは、複数の社会システムの連成シミュレーションモデルを提案したことにある。またシミュレーションの信頼性はシミュレーションコードだけでなく入力データの信頼性にも依存するため、逆解析によって信頼できる入力データを取得する仕組みを構築した。このように構築された信頼性の高い連成シミュレーションモデルは実世界の社会的問題解決のために活用可能である。

研究成果の概要（英文）：In order to solve or relax complex and critical problems in modern society, a social simulation platform for quantitatively designing new technologies and social systems, and promoting stakeholders' consensus building for their social implementation had been developed. In particular, we focused on transportation systems and proposed their interaction models with surrounding urban dynamics and power grid systems. At the same time as aiming at the design of the real world, we proposed an input data estimation algorithm using inverse analysis method to design the simulation model.

研究分野：社会システム工学

キーワード：社会シミュレーション 交通工学 都市動態 電力システム マルチエージェントシステム 逆解析
連成解析 問題解決環境

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

マルチエージェントシステム(以下 MAS)は社会基盤や社会システムの解析に広く応用されているが、多くの MAS 研究は簡易モデルによって実社会の限られた特徴を定性的に分析することを目的としている。これに対し、いくつかの MAS ではバーチャル世界に実社会の人間を投影できるように設計されている。バーチャル世界の挙動の一部を実世界から入力するシステムといえ、実世界から情報を与えることによりシミュレーションの精度や信頼性を向上させることに貢献している。

しかし一方で、バーチャル世界の出力と実世界の計測情報とを比較し、入力情報へフィードバックし、バーチャル世界を再構成して実世界と同化させるシステムについては十分に研究がなされている状況ではない。これは一種の逆問題であり、物理モデルでは既に様々な解法が提案されているが、社会現象特有の非線形性や不連続性を考慮に入れなければならない。また同時に考えなければならないのは、シミュレーション結果をもとに社会制度を設計する場合、設計された制度により、実世界の状況が刻々と変化する点である。そこで、バーチャル世界と実世界の情報を相互にやり取りして共創的に時間発展させるプロセスを実現する必要がある。

2. 研究の目的

現代社会の複合的重要課題の解決や影響軽減に向けて、新技術やシステム・社会制度を、多数の利害関係者が参加しインタラクティブかつ定量的にデザインし、社会実装に向けて合意形成を促進するための革新的な社会シミュレーションプラットフォームを研究開発する。具体的には、「スケール・詳細度・対象の異なる複数の社会シミュレーションを階層的に結合したマルチソーシャルシミュレータ」、「実世界のデータとバーチャル世界を双方向に連成させ同化させるシステム」、「複数の利害関係者の合意形成を促進するインタラクティブインタフェース」を新たに構築し統合して実現することを目的とする。その中でも、交通システムを中心とした社会システムについて取り上げる。

本研究の学術的な意義の第一は、複数のシステムから成る現実世界を定量的に模擬できるバーチャル世界を構築する点である。交通と人流のように空間を共有するモデル、さらに都市動態・人口動態のように時間スケールの異なるモデルが連成するマルチソーシャルシミュレーションを実現する。

第二は、バーチャル世界に情報を入力することによって、新たな社会制度設計に関わる多様な利害関係者がそれぞれバーチャル社会実験を実施し、施策の効果を定量的に議論することができるようになる点である。

第三は、現実世界とバーチャル世界の間で双方向に情報をやり取りするという上記のプロセスを反復的に実行することで、現実世界とバーチャル世界の2つが共創的に時間発展する課題の解決プラットフォームを創成する点である。

3. 研究の方法

代表者(藤井)と分担者(吉村)は以前より人間の認知・判断機構を詳細にモデル化する知的マルチエージェント交通流シミュレータ“ADVENTURE_Mates”(以下“MATES”)の研究開発を行ってきており^{1, 2)}、道路交通を中核とした社会システムの課題解決に力を注いできた。本研究はこのMATESを中心としてスタートし、交通以外の要素へと順次拡大してゆく。

本研究の要点となるのは「1. 複数の社会モデルの連成(マルチソーシャルシミュレーション)」、「2. バーチャル世界のデザイン(パラメータの推定・同定)」、「3. 実世界からバーチャル世界への情報の入力」、「4. バーチャル世界から実世界への情報の出力」である。

特に「1. 複数の社会モデルの連成」においては、複合的・複層的な社会シミュレーションに取り組む。特に震災とその後の原子力発電所の状況、あるいは電気自動車の普及開始、スマートグリッドの実装等を考え、社会システムと深く関連する電力システムとの連携も考慮に入れ研究を進める。

「2. バーチャル世界のデザイン」はデータ同化を含み、制御・最適化の問題であると捉えられる。特に微視的交通流シミュレーションの分野ではリンク交通量の観測結果からOD交通量を適切に推定してシミュレーションの入力とする必要があるが、現在においても確立された手法はない。人間の意思決定あるいは社会現象の階層性にもとづき、分担者(原)らの提案するグローバル制御³⁾を適用する。

続いて「3. 実世界からバーチャル世界への情報の入力」「4. バーチャル世界から実世界への情報の出力」においては、社会政策の意思決定者である市民が情報提供しやすいようなシステムを用意する。具体的にはwebブラウザを介した情報入出力システムを構築する。

<引用文献>

1) S. Yoshimura, MATES: Multi-Agent Based Traffic and Environment Simulator -Theory, Implementation and Practical Application, Computer Modeling in Engineering and Sciences, Vol.11, No.1, pp.17-25, 2006.

2) 藤井 秀樹, 仲間 豊, 吉村 忍, 知的マルチエージェント交通流シミュレータ MATES の開発第二報: 歩行者エージェントの実装と歩車相互作用の理論・実測値との比較, シミュレーション, vol. 25, no. 4, pp. 274-280, 2006.

4. 研究成果

(1) 交通流シミュレーションの実世界のデザインへの応用

本研究において改良した MATES をさまざまな地域の交通現象の解析に応用し、実世界のデザインに寄与した。

岡山市では路面電車の軌道を延伸し JR 岡山駅の駅前広場に乗り入れる計画が議論されていたが、路面電車が新たに駅前交差点を通過することになるため、自動車の青信号現示時間が短くなり、それが渋滞を悪化させるのではないかと懸念されていた。この影響を定量的に予測するため MATES を利用したシミュレーションを実施し(図 1)、路面電車の軌道延伸の影響を平均値で見れば最大 1 割程度の滞留長の増加として現れるものの、現状の交通の日常的なゆらぎの中に収まるという結果を得た(雑誌論文[7, 9], その他[3])。本研究の成果は岡山市役所の検討会や岡山市議会でも取り上げられ、結果として軌道延伸が実施されることとなった。

また和歌山県、愛媛県、福井県で開催された国民体育大会(国体)の開会式当日における選手団や役員・観客の輸送計画の検討にも MATES は活用された(学会発表[7])。



図 1 路面電車軌道延伸シミュレーション

(2) 交通流シミュレータの高速化と並列化, 不確実性の評価

実世界のデザインは反復的に実施される。すなわち、シナリオの設定と、そのシナリオのもとでのシミュレーションを繰り返す。また乱数の影響を考慮するため、1つのシナリオを分析する際にも複数回のシミュレーションを実施する必要がある。したがって、シミュレーションを高速に実行することが要求される。MAS を利用した交通流シミュレーションのうち、エージェントごとの独立性の高い車両挙動の計算を並列化し、さらに並列加速率を向上させるための負荷分散手法を明らかにした(図 2)(学会発表[1, 3])。

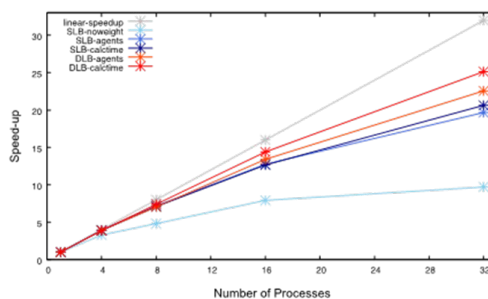


図 2 並列化された MATES の加速率

一方で自動車エージェントの経路探索クエリ

は逐次計算が避けられず、それが計算時間の大部分を占めていたが、高度な前処理を要しない階層的な経路探索アルゴリズムを提案し、50倍以上の高速化を達成した(雑誌論文[3])。

あわせてシミュレータが持つ不確実性について検討し、シミュレーションの結果として得られる交通量の空間上の相関や、平均値と分散についての関係を分析した(雑誌論文[4, 10], その他[1])。

(3) 自動車交通流シミュレーションと歩行者交通流シミュレーションの連成

高速かつ高精度な歩行者シミュレーションモデルとして拡張 1 次元歩行者モデルを提案した。拡張 1 次元歩行者モデルは、1 次元の歩行レーン内での追い越しを表現するため、「直前方の歩行者に追従しない」という特徴を持つモデルである。代表的な連続空間 2 次元歩行者モデルである Social Force Model と同程度の精度を持つこと、および Social Force Model より十分高速に計算できることを確認するとともに、歩車混合交通のシミュレーションにも利用できることを示した(雑誌論文[5])。

(4) 電気自動車を介した交通システムと電力システムとの連成

交通流シミュレータに電気自動車エージェントを実装し、電気自動車が走行する道路環境のシミュレーションを実施した。これを用いて、急速充電器の配置計画の立案や充電行動を考慮した経路探索アルゴリズムを提案した(雑誌論文[2], その他[2])

さらに、電力ネットワークの潮流計算を行うシミュレータを新たに開発し、交通流シミュレータと組み合わせることで、電気自動車の充電需要が電力ネットワークに与える影響について分析した(学会発表[5, 10])。

(5) 都市動態シミュレーション

マルチエージェントシステムを利用した世帯数推移シミュレーションモデルと居住地選択モデルを新たに提案した。これは、シミュレータに入力するデータの入手可能性と検証可能性を考慮し、住民ではなく世帯をエージェントとしたメソスコピックなシミュレータであり、実際の都市の総世帯数および世帯種ごとの世帯数を再現できる能力を持っていることを示した(雑誌論文[8], 学会発表[9])。

(6) シミュレーションの入出力のための Web インタフェースの開発

シミュレーションに関する専門的な知識や技術を持たない者でも簡単な操作のみでシミュレーションを実行できる環境を提供することを目的とし、一般に広く利用可能な Web ブラウザを通じてシミュレーションを遠隔実行できる Web サービスを構築した(学会発表[8])。特に初心者が間違えやすい操作を補助する機能を整備し(図3), ユーザ参加実験によって有用性を示した。



図3 プリプロセス補助インタフェース

(7) 交通需要の推定アルゴリズムの開発

交通需要に関する情報は現実世界を対象とする交通流シミュレーションに欠かせない入力情報であるが、OD 交通量と呼ばれる、出発地・目的地ペアごとの交通需要は観測できない。そこで、逆解析手法を用い交通量調査等で観測可能なリンク交通量を再現するための交通需要推定法を提案した(雑誌論文[6], 学会発表[4])。さらに交通需要の不確実性を考慮した推定を実施する際に、ネットワーク上のどのリンクの交通量を計測すれば効率的に推定可能になるか調査した(雑誌論文[1])。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 14 件)

- [1] 阿部 和規, 柳井 都古杜, 山田 知典, 藤井 秀樹, 吉村 忍, 需要の不確実性を考慮した交通量観測地点の最適化 - マルチエージェント交通シミュレーションによる評価, 人工知能学会論文誌, vol 33, no. 6, pp. D-159_1-10, 2018, 査読有。
- [2] 内田 英明, 藤井 秀樹, 吉村 忍, 強化学習による電気自動車の走行モデル切り替えの最適化, 電子情報通信学会論文誌 D, vol. J101-D, no. 9, pp. 1316-1324, 2018, 査読有。
- [3] 福田 隼馬, 阿部 和規, 藤井 秀樹, 山田 知典, 吉村 忍, 大規模マルチエージェント交通流シミュレーションのための階層的経路探索手法, 情報処理学会誌, vol. 59, no. 7, pp. 1435-1444, 2018, 査読有。
- [4] M. Yanai, K. Abe, T. Yamada, H. Fujii, S. Yoshimura, Cluster Analysis for a Series of Microscopic Traffic Simulation Results, Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering, vol. 4, no. 1, pp. 78-98, 2018, 査読有。
- [5] 藤井 秀樹, 西岡 智彦, 城所 直樹, 内田 英明, 吉村 忍, 拡張 1 次元歩行者モデルの構築と交差点における歩車混合交通シミュレーション, 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 3, pp. 874-881, 2018, 査読有。(情報処理学会論文誌ジャーナル特選論文)
- [6] K. Abe, H. Fujii, S. Yoshimura, Inverse Analysis of Origin-Destination Matrix for Microscopic Traffic Simulator, Computer Modeling in Engineering and Sciences, vol. 113, no. 1, pp. 68-85, 2017, 査読有。
- [7] H. Fujii, H. Uchida, S. Yoshimura, Agent-based Simulation Framework for Mixed Traffic of Cars, Pedestrians and Trams, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 85, pp. 234-248, 2017, 査読有。
- [8] 山際 康平, 藤井 秀樹, 吉村 忍, メソスコピックモデルを用いたマルチエージェント世帯推移シミュレーション, 人工知能学会論文誌, vol. 32, no. 5, pp. AG16-A_1-10, 2017, 査読有。
- [9] 吉村 忍, 藤井 秀樹, 内田 英明, 加納 達彬, 混合交通流シミュレータによる岡山駅前路面電車軌道延伸計画の交通影響評価, 交通工学論文集 (特集号), vol. 3, no. 4, pp. B_1-B_10, 2017, 査読有。
- [10] 山田 知典, 石川 佳愛, 阿部 和規, 藤井 秀樹, 吉村 忍, マルチエージェント交通流シミュレーションにおける交通量の不確実性評価, 日本シミュレーション学会論文誌, vol. 9, no. 1, pp.1-9, 2017, 査読有。(日本シミュレーション学会論文賞)

[学会発表](計 85 件)

- [1] H. Fujii, Y. Ushimaru, T. Yamada, S. Yoshimura, Parallelized Microscopic Traffic Simulation with Dynamic Load Balancing, International Conference on Computational & Experimental Engineering and Sciences, semi-plenary lecture, #5442, 2019.
- [2] 鈴木 大介, 阿部 和規, 藤井 秀樹, 吉村 忍, マルチエージェントシミュレーションを用いた交通システムのグローバル制御の評価, 日本機械学会第 31 回計算力学講演会, 講演番号

147, 2018.

- [3] 牛丸 雄太, 藤井 秀樹, 吉村 忍, 山田 知典: 動的負荷分散を考慮したマルチエージェント交通流シミュレータの並列化, 日本機械学会第 31 回計算力学講演会, 講演番号 185, 2018.
- [4] K. Abe, H. Fujii, S. Yoshimura, Origin-Destination Matrix Estimation with Incomplete Signal Dataset for Microscopic Traffic Simulation, 13th World Congress on Computational Mechanics, #2019492, 2018.
- [5] 内田 英明, 藤井 秀樹, 吉村 忍, 道路交通網と電力系統の連成シミュレーション, 2018 年度人工知能学会全国大会 (第 32 回), 3K2-0S-18b-04, 2018. (人工知能学会全国大会優秀賞)
- [6] S. Yoshimura, H. Fujii, MATES: Multi-Agent based Traffic and Environmental Simulator -Core Technologies and Practical Applications-, 8th International Conference on Computational Methods, plenary lecture, 2017.
- [7] H. Matsushima, H. Fujii, T. Yamashita, I. Noda, Planning of Bus Transportation by Using Traffic Simulation, Annual Conference of Computational Social Science Society of the Americas 2016, paper no.7, 2016.
- [8] 飯田 義之, 藤井 秀樹, 吉村 忍, 交通流シミュレーションの遠隔実行環境の開発と評価, 日本機械学会第 29 回計算力学講演会, 講演番号 119, 2016.
- [9] 山際 康平, 藤井 秀樹, 吉村 忍, メソスコピックモデルを用いたマルチエージェント世帯推移シミュレーションとその評価, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2016, pp. 1-8, 2016. (合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2016 最優秀論文賞)
- [10] H. Uchida, H. Fujii, S. Yoshimura, Simulation of the Interaction Between Transportation Network and Power Grid Mediated by Electric Vehicles, 7th International Conference on Computational Methods, ID: 1604, 2016.

〔その他〕

- [1] 新聞報道「渋滞パターン 洗い出し」, 日経産業新聞, 2017 年 9 月 12 日.
- [2] 新聞報道「EV の充電設備 AI で効率配置」, 日経新聞, 2017 年 5 月 15 日.
- [3] 新聞報道「路面電車岡山駅乗り入れ 周辺道 渋滞は限定的」, 山陽新聞, 2016 年 1 月 23 日.

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：山田 知典

ローマ字氏名：YAMADA, Tomonori

所属研究機関名：東京大学

部局名：大学院工学系研究科

職名：准教授

研究者番号 (8 桁): 40401145

研究分担者氏名：小宮山 涼一

ローマ字氏名：KOMIYAMA, Ryoichi

所属研究機関名：東京大学

部局名：大学院工学系研究科

職名：准教授

研究者番号 (8 桁): 60537819

研究分担者氏名：原 辰次

ローマ字氏名：HARA, Shinji

所属研究機関名：中央大学

部局名：研究開発機構

職名：機構教授

研究者番号 (8 桁): 80134972

研究分担者氏名：橋本 成仁

ローマ字氏名：HASHIMOTO, Seiji

所属研究機関名：岡山大学

部局名：環境生命科学研究科

職名：准教授

研究者番号（8桁）：80291318

研究分担者氏名：吉村 忍

ローマ字氏名：YOSHIMURA, Shinobu

所属研究機関名：東京大学

部局名：大学院工学系研究科

職名：教授

研究者番号（8桁）：90201053

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。