

令和元年5月30日現在

機関番号：13302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00032

研究課題名(和文) 状況アウェアネスと情報スーパーバイザ制御のための数理モデルの構築

研究課題名(英文) Building Mathematical Models for Situation Awareness and Information Supervisory Control

研究代表者

平石 邦彦 (Hiraishi, Kunihiko)

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授

研究者番号：40251970

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：複数のエージェントによる連携行動において、状況に応じた適切な情報提供によりエージェントの行動を制御するのが情報スーパーバイザ制御である。本研究は、情報スーパーバイザ制御を実現するための数理モデルの構築、それに基づいたスーパーバイザ制御則の導出、さらに、モデルの有効性の確認を目的とする。まず、データ取得を目的として、介護施設におけるスタッフの連携作業を再現したフィールド実験を実施した。この結果に基づき、情報スーパーバイザ制御の概念を数理モデルとして定式化した。シミュレーションにより様々な情報提供の下での性能評価指標を導出してフィールド実験の結果と比較し、モデルの定性的な正しさを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

目的や役割を持ったエージェント集団に対する状況認識および情報提供によるソフトな制御は、病院、介護施設、レストラン、旅館などにおけるサービス現場や避難誘導において活用できる技術である。本研究の成果は、このようなシステムを設計するための枠組みを与え、さらにシミュレーションによる設計の評価を可能にするものである。

研究成果の概要(英文)：The information supervisory control is conceptual scheme that controls behavior of multiple agents by providing appropriate information to the current situation. The aim of this research is to develop a formal model for realizing the information supervisory control, to derive control rules based on the model, and to validate the effectiveness of the proposed approach. We first conducted field experiments that simulate staff's cooperative work in nursing homes in order to get actual data. Based on the knowledge obtained from the experiments, we developed a mathematical model that realizes the concept of the information supervisory control. By computer simulation, various performance indices are derived, and are compared with the result of the experiments. We can conclude that the model is qualitatively correct.

研究分野：システム科学

キーワード：状況アウェアネス スーパーバイザ制御 離散事象システム 意思決定

## 1 . 研究開始当初の背景

研究代表者は、2010 年 10 月から 3 年間、北陸先端科学技術大学院大学、(株)東芝、清水建設(株)を中心とする産学連携プロジェクト「音声つぶやきによる医療・介護サービス空間のコミュニケーション革新」において、「スマート音声つぶやきシステム(SVM システム)」の開発に携わり、病院および介護施設で実験評価を行った。開発したシステムは、看護・介護中の様々な観察や状況報告を音声メッセージおよびそれを音声認識エンジンによりテキスト化したデータで収集し、ケアスタッフ間で「気づき」を共有するシステムである。メッセージを「必要な相手」に「適切なタイミング」で配信することにより、スタッフ間連携が向上することを確認した。この研究から着想したのが「情報スーパーバイザ制御」である。ただし、概念的枠組みを提示しただけで、具体的な制御系の設計手法は示さなかった。

離散状態が事象の発生により遷移する離散事象システムを制御する枠組みとして「スーパーバイザ制御」が知られている。スーパーバイザ制御は、プラントで発生した事象を観測し、発生可能な事象の一部を禁止することで、システムのふるまいを望ましいものに制御するための方法論であり、離散事象システムのための制御理論として広く認知されている。情報スーパーバイザ制御はスーパーバイザ制御の一般化として捉えることができる。

## 2 . 研究の目的

本研究の目的は、不完全情報下におけるエージェント集団のふるまいを情報提供により間接的に制御するための概念的枠組みである「情報スーパーバイザ制御」を、実システムとして実現するために必要な数理モデル、および、それに基づいた設計手法を開発することである。まず、制御入力を決定するために必要な情報として、エージェント集団の状態やふるまいを抽象化した「状況(situation)」の概念を導入する。つぎに、センサ情報など様々な情報機器から得られる時空間情報を統合することにより状況を把握する「状況アウェアネス」を、数理モデルを用いて定式化する。さらに、エージェント集団のふるまいを望ましいものに誘導するための情報を

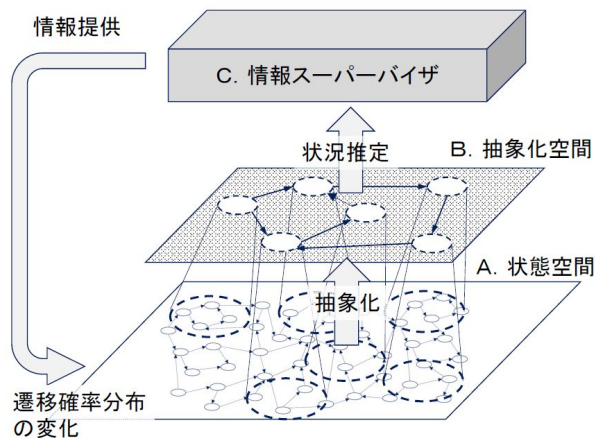


図1. 情報スーパーバイザ制御

を、認識された状況に応じて出力する「情報スーパーバイザ」を設計するための手法を開発する。

情報スーパーバイザ制御の概念は、図1の3層モデルで説明できる。エージェント集団の状態遷移(A.状態空間層)をセンサ情報や携帯デバイスの実行ログで観測し、ふるまいを抽象化したモデル上にマッピングする(B.抽象化空間層)。情報スーパーバイザは、抽象化空間における「状況」を認識し、状況に基づいてはエージェント集団に情報提供を行う(C.情報スーパーバイザ層)。情報提供により、エージェント集団の行動、具体的には状態遷移の確率分布が変化する。

## 3 . 研究の方法

H28～29年度は状況アウェアネスのための数理モデル構築に関する理論研究を行う。H29～30年度には情報スーパーバイザ制御のモデルをマルチエージェントシミュレータとして実装する。構築したモデルの妥当性を検証するために、仮想環境における実験によりデータを取得し、シミュレーション結果と実験のデータを定量的に比較する。さらに、応用例として、航空機をエージェントとみなし、空域における航空機の混雑状況を認識するためのモデル構築に向けた検討を行う。各項目に関する説明を以下に示す。

### (1) 情報スーパーバイザ制御のための数理モデルの構築

図1の情報スーパーバイザ制御の概念に基づき、より詳細なモデル化のための枠組みを設計する。モデルでは、エージェントの意思決定に関する確率モデル、特に、情報の提供により意思決定がどのように変化するかをルールベースの形で表現する。構築したモデルはマルチエージェントシミュレータとして実装可能な程度の粒度を持たせる。また、エージェントの行動データから、状況変化の切り替えが起こる時点を検出する「状況認識」のための方法を開発する。

### (2) 仮想環境における実験

介護施設におけるスタッフの連携作業を再現した実験を大学キャンパス内で実施する。具体的には、4人の介護スタッフ役が与えられた作業を一定時間内に行う実験を実施する。各スタッフ役は「音声つぶやきシステム」を持ち、自己の状況について音声による情報発信を行う。発信された情報は全員にブロードキャストされ、テキストとしても閲覧可能である。実験において、発信内容が連携作業に与える影響を定量的に評価する。

- (3) マルチエージェントシミュレーターとしてのモデルの実装と評価  
(2)で実施した実験環境のモデルをマルチエージェントシミュレーター上に実装し、行動の定量的評価を行う。モデルの時間スケールを実験と揃えることで、シミュレーションと実験の直接的な比較を行う。
- (4) 空域における航空機の混雑状況のモデル化  
提案するアプローチの発展として、飛行機をエージェントとみなし、空域における状況認識を行うことを最終目標にする。状況認識の結果は航空管制の補助情報として用いることを想定している。本研究課題では、まず準備として航空オープンデータを用いた空域における航空機のふるまいをモデル化するための方法について検討し、つぎに航空管制による積極的対応が必要になるような状況を認識するための方法について研究を行う。

#### 4. 研究成果

各研究項目について、以下の成果が得られた。

- (1) 情報スーパーバイザ制御のための数理モデルの構築  
インタラクションを行う状態遷移モデルにエージェントの意思決定プロセスを確率的に記述したルールベースを加えた数理モデルを提案した(雑誌論文[2,6])。提案モデルは集合および関数の記述が与えられたフォーマルなものであり、計算機による実装・シミュレーションが可能である。また、エージェントの行動データから、状況および状況変化の切り替えが起こる時点を検出する方法については、提案手法の妥当性検証を、離散事象シミュレーションにより生成した人工データを用いて実施した(雑誌論文[4,7])。
- (2) 仮想環境における実験  
H28に学生4名による実験を実施した。実験は異なる2つのグループで複数回実施した。提供する情報の内容を複数種類のパターンで用意し、それらにより作業効率など定量的指標がどのように変化するかを測定した(雑誌論文[2])。
- (3) マルチエージェントシミュレーターとしてのモデルの実装と評価  
仮想環境における実験のモデルを離散事象システムのモデル化のツールであるCPN Tools上に実装した。モデルは確率的なふるまいを含むため、情報提供の各パターンに対し1,000回シミュレーションを実施し、それらの平均値により評価を行った。シミュレーションと実験の評価値は定性的には一致していたが、定量的には相違が見られた(雑誌論文[8])。
- (4) 空域における航空機の混雑状況のモデル化  
空域における航空機位置はCARATSオープンデータとして公開されている。このデータから各航空機が存在するセクターを高速に同定する方法(雑誌論文[1,3,5])、および、セクター内の航空機フローのダイナミクスを表現した数理モデルを構築した(論文投稿中)。これらの成果は、今後の研究で活用される。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計8件)

[1] (査読有) Shoya Tokumaru, Kunihiko Hiraishi: Sector Identification for a Large Amount of Airspace Traffic Data, IEICE Trans Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E102-A No.5, pp. 755-756 (2019)

[2] (査読有) Kunihiko Hiraishi, Naoshi Uchihira, Sunseong Choe, Koichi Kobayashi: Information Supervisory Control of Human Behavior - A Formal Model and Simulation -, Proc. IEEE Systems, Man, and Cybernetics 2018, pp. 2021-2026 (2018/10/7-10, Miyazaki, Japan)

[3] (査読無) 徳丸翔也, 平石邦彦: 大規模空域トラフィックデータに対するセクター同定, 第64回離散事象システム研究会予稿集, pp. 24-27 (2018/08/31, 松山)

[4] (査読無) 早貸 舜, 平石邦彦, 内平直志: 作業スタッフの行動ログを用いた時空間状況認識の性能向上について, 信学技報, vol. 117, no. 506, MSS2017-90, pp. 67-72 (2018/3/12-14, 大阪)

[5] (査読無) 徳丸翔也, 平石邦彦: CARATS Open Dataにおける航空機位置のセクター決定問題について, 信学技報, vol. 117, no. 506, MSS2017-86, pp. 47-51 (2018/3/12-14, 大阪)

[6] (査読有) Kunihiko Hiraishi, Naoshi Uchihira, Sunseong Choe, Koichi Kobayashi: Information Supervisory Control of Human Behavior - Experiments and Formal Modeling -, Proc. Asian Control Conference (ASCC2017), pp.1351-1356 (2017/12/17-20, Goldcoast, Australia)

[7] (査読有) Koichi Kobayashi, Kunihiko Hiraishi, Sunseong Choe, and Naoshi Uchihira:

Behavioral Analysis in Nursing and Caregiving Services Using Switched Linear Regression Models, Proc.20th IFAC World Congress, pp. 4668-4673 (2017/7/9-14, Toulouse, France)

[8] (査読有) Kunihiko Hiraishi, Naoshi Uchihira, Sunseong Choe and Koichi Kobayashi: Information Supervisory Control of Human Behavior - Concept and Experiments Toward Realization -, Proc. IEEE SMC2016, pp. 790-795 (2016/10/10-12, Budapest, Hungary)

〔学会発表〕(計8件)

[1] Kunihiko Hiraishi, Naoshi Uchihira, Sunseong Choe, Koichi Kobayashi: Information Supervisory Control of Human Behavior - A Formal Model and Simulation -, IEEE Systems, Man, and Cybernetics 2018 (2018)

[2] 徳丸翔也, 平石邦彦: 大規模空域トラフィックデータに対するセクター同定, 第64回離散事象システム研究会 (2018)

[3] 早貸 舜, 平石邦彦, 内平直志: 作業スタッフの行動ログを用いた時空間状況認識の性能向上について, 電子情報通信学会システム数理と応用研究会 (2018)

[4] 徳丸翔也, 平石邦彦: CARATS Open Data における航空機位置のセクター決定問題について, 電子情報通信学会システム数理と応用研究会 (2018)

[5] Kunihiko Hiraishi, Naoshi Uchihira, Sunseong Choe, Koichi Kobayashi: Information Supervisory Control of Human Behavior - Experiments and Formal Modeling -, Asian Control Conference (ASCC2017) (2017)

[6] Koichi Kobayashi, Kunihiko Hiraishi, Sunseong Choe, and Naoshi Uchihira: Behavioral Analysis in Nursing and Caregiving Services Using Switched Linear Regression Models, 20th IFAC World Congress (2017)

[7] Kunihiko Hiraishi, Naoshi Uchihira, Sunseong Choe and Koichi Kobayashi: Information Supervisory Control of Human Behavior - Concept and Experiments Toward Realization -, IEEE SMC2016 (2016)

[8] Kunihiko Hiraishi, Naoshi Uchihira, Sunseong Choe, Koichi Kobayashi: Information Supervisory Control of Human Behavior, The 13th India-Japan Bilateral Conference (BICON2018) (2018)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計0件)

取得状況 (計0件)

〔その他〕

なし

## 6. 研究組織

(1)研究分担者 なし

(2)研究協力者 なし

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。