

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：12612

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26540153

研究課題名(和文)次世代情報社会システムのための多段創発機構の構築

研究課題名(英文)Proposition of multi-layered emergent hierarchical structure for next-generation information social infrastructure system

研究代表者

栗原 聡 (Kurihara, Satoshi)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：30397658

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：早急な開発と運用が求められるスマートグリッドやアンビエント情報基盤、そしてビッグデータを背景とする次世代情報社会インフラシステム等の構築に際しては「多段創発型階層構造」に基づく設計が重要である。そこで、多段創発型階層構造における「下層が上層をボトムアップ的に多段階に創発するしくみ」を本研究の主目的とした。そして、群知能型手法の代表であるACOを土台とする方法を提案した。この方法により、階層性のある時系列パターンが含まれるデータからの階層構造抽出を可能とした。多数の自律エージェントが簡潔なルールに基づき他のエージェントと協調することで、データに隠された階層構造を抽出することができる。

研究成果の概要(英文)："Multi-layered emergent hierarchical structure" is important when constructing smart grid, ambient information infrastructure, and next-generation information social infrastructure system for which urgent development and operation are necessary. Therefore, the main objective of this study is proposition of mechanism that the lower layer emergents upper layer by bottom-up approach. We proposed a method based on ACO which is representative of collective intelligent method which enables autonomous hierarchical structure extraction from data including hierarchical time series pattern. Embedded hierarchical structure can be extracted through simple coordination of large number of autonomous agents.

研究分野：人工知能，複雑ネットワーク，群知能

キーワード：多段創発 ボトムアップ 時系列データ ACO 自律エージェント 協調 パターンマイニング 大規模複雑システム

1. 研究開始当初の背景

従来のシステム設計基盤であるトップダウン型多層構造設計では、全体を複数のパーツに機能分解する処理を多段階繰り返す工程により多層化し、より下層の各パーツから設計を開始する。よって、上層と下層は互いを完全に把握できる関係にある。無論、システム全体をトップダウン的に把握する観点では従来の階層構造は的確である。しかし、早急な開発が急務なスマートグリッドや、アンビエント情報基盤を始め、ソーシャルメディア等を取り込んだ新しい防災・減災・レジリエント情報システムといった、実世界と情報空間が融合した、多数の人とモノが複雑にネットワーク化された大規模複雑系を基盤とする新しい情報社会システムの設計においては適切とは言えなくなる。従来のままの階層構造設計では、下層での動的変化が過度に上層に影響を及ぼす可能性があるだけでなく、どのように影響を及ぼすかの因果関係の把握すら困難となり、正確な制御が不能となる恐れが高い。昨今の原発問題での、現場(最下層)での事象に対する適切な上層による把握と政策が破綻していること等がその確証である。これに対し、新しい観点での階層構造である「多段創発型階層構造」に注目した研究が黎明期を迎えようとしており、多段創発型階層構造の可能性・有効性についての調査が開始されたばかりの段階である。

2. 研究の目的

本研究でも、従来のトップダウン型多層構造と180度異なる多段創発型階層構造に着目する。この構造の典型例が「人体(生物)」であり、「細胞レベル 臓器レベル 身体レベル」という多層構造システムである。また、「神経細胞レベル 個人の意識レベル コミュニティレベル 世論レベル」なども該当する。細胞は成熟期に入ると一日数十万個死滅すると言われ、物理的な意味で常に同じネットワーク構造を維持することはできないものの、自意識のような上層では「自分」という一貫性のある認識を維持することができる。これが、多段創発型階層構造の象徴的な特徴である。そこで、本研究においては、多段創発型階層構造構築における中心的課題である、

- (1) 多段創発型階層構造において下層が上層をボトムアップ的に多段階創発するしくみ、並びに
- (2) 同階層構造において、上層を制御するための下層の制御方法の創出の2点と、それらの応用である、
- (3) 高い多様性を有するビッグデータからのボトムアップ型データマイニング法の創出を目的とした。

本研究は生物のみが持つ多段創発型階層構造という、極めて有用なシステム構成法を工学的に利用する方法論を確立しようという試みである。研究目的(1)においては、1段階のみの創発であればACO(Ant Colony Optimization)に類する方法やセルオートマトン等において実現されており、ACOのように実際に具体的な最適化手法の一つとして確立されているものもあるが、2段階以上を創発させるしくみは未だに提案されていない。そして、研究目的(2)こそが多段創発型階層構造の工学的利用を可能とするための最重要な課題となるが、これも未開拓の状態でありいち早く解決すべき課題である。

また、研究目的(3)の、新しいボトムアップ型データマイニング法の創出は、ビッグデータに対するデータマイニング手法において、従来のデータマイニング法と全く異なる角度からの挑戦となる。冒頭にて言及した大規模複雑系を基盤とする新しい情報社会システムにおいては、これら得られるデータを対象とするデータマイニングへの要請も今後急増することが確信されるが、このような高多様多次元ビッグデータに対しては、従来のトップダウン型のマイニング処理では有効に機能できない可能性が高い。データ間の因果関係などが複雑過ぎて、どのようなマイニングを行うことでどのようなデータを的確に抽出できるかの把握を人がトップダウンに行うことがもはや不可能な域に達するからである。

3. 研究の方法

研究の進め方としては、手法の提案の仕方は構成論型、(1)(2)についてはシミュレーションによる評価を主軸とし、(3)については人工データならびに実データを利用した評価を行う。

4. 研究成果

初年度は、多段創発型階層構造において下層が上層をボトムアップ的に多段階創発するしくみの創出から着手した。群知能型最適化手法での代表的なACO(Ant Colony Optimization)における、フェロモンを用いた間接協調メカニズムに基づく「時系列データからのパタン抽出法の提案」を行った。コンビニ等において、顧客が商品を手取る時系列や、IoTの浸透に従い生活拠点に設置されるセンサーを通じた、人の行動の時系列データからの頻出行動パタンや、購入される商品間の関係性の抽出が目的である。最下層では、各個人や個々の商品に着目したデータマイニングが行われ、この層にて抽出された個人や商品レベルのパタンが、上層としての集団や商品カテゴリ単位での振る舞いや購入パタンといったメタレベルのパタンを創発させるダイナミクスとなる。

初年度の進捗としては、単体の層におけるパターン抽出法についてのアルゴリズムの創出と時系列パターンマイニング法としての初期評価を行う段階まで到達し、国際会議における口頭発表での採択や、データ解析コンペティションに参加し、優秀賞を受賞するなどの成果を出すことができた。まずデータとしてスーパーマーケット数店舗での購買データ（POS データ）を利用し、ボトムアップ型最適化法である ACO をマイニング法として利用する方針として、この方法の特徴はデータの特徴の時間的変化に即応できるところにあり、POS データであれば、季節での売れ筋の変動に加え、一日での変化を容易に把握することができる。

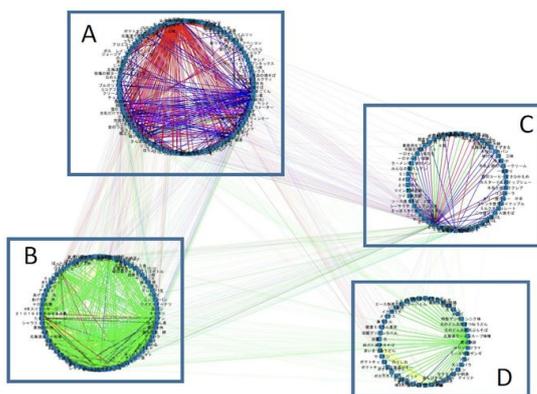


図 1：抽出された店舗での購買パターン

図 1 はその解析結果例であるが、色が店舗を示し、A~D が同時購入されるクラスタである。A グループは主に赤、B は緑というように店舗のある地域に依存して売れる商品が異なることを容易に把握することができ、これを時系列な変化として可視化することも容易である。

2 年目は、近年注目されている Deep Learning を題材とし、多層型 NN における中間層のダイナミクスについて研究を行った。多層型 NN においては、下層での具体的なデータからの抽象的な特徴が中間層にて獲得される。つまりは中間層において、汎用的な特徴が創発されていると言える。そこで、今回は、中間層にて創発される汎用性の高い特徴を別のデータに適用させる方法について取組み、具体的には物体 A において回転という概念を獲得し、それを物体 B に適用し、物体 B を回転させた時の画像を出力する方法を提案することができた。具体的には、まず物体 A を小角度ずつ回転させつつ、回転させる前の画像に対して、回転角と回転後の画像を学習させる。これにより中間層にて回転による見え方の変化の概念を獲得させる。ここでこの概念が獲得されているのなら、一切学習させていない画像をこの NN に入力すれば推定される回転した時の画像が出力されるはずである。

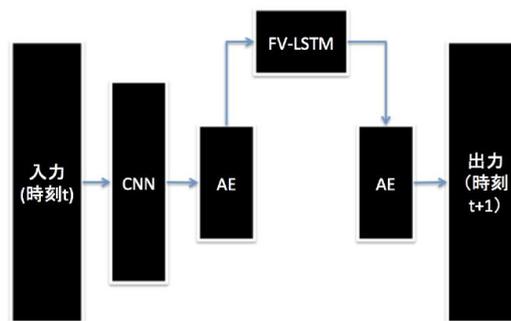


図 2：提案モデル

図 2 が提案モデルであり、図 3 に出力結果を示す。

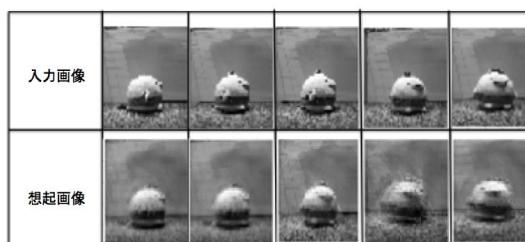


図 3：回転が想起されたどうかの結果

図 3 に示すように、特に左から 3 番の図が分かりやすいが、上の入力画像に対して、それを回転された画像が想起画像として出力されている。まさに、下層の個々の画像から、上層において回転の概念というより抽象的なモデルが創発されるしくみの一つとなる。

最終年度は、初年度に取り組んだ ACO 型の時系列パターン抽出法において、前年度での DNN における中間層についての研究を参考に、ACO 型パターンマイニング法を多層とするアルゴリズムの創出を行った。現段階ではまだ初期動作実験レベルであるが、そのコンセプトについて国際会議にて採択されている。また、人工生命研究から着想を得て、生物における細胞に相当する仮想細胞の自己組織化による多段創発実験も開始したところである。本研究は終了となるが、一定の成果と次に続く流れを作ることができた。この方法は、まず、下層にて極単純なパターンの検出を行う。データに含まれるデータ種類に応じて、様々なパターンに対して反応する仮想アリを、大量投入する、すると、発生頻度の多いパターンのみが ACO 的效果により蒸留される。すると、蒸留されたパターン同士にて組み合わせられる様々なメタパターンに対して反応するメタ仮想アリを同じように大量に投入すると、メタパターンレベルでのさらに上位のパターンの抽出が可能になる。この方法をひたすら繰り返すことで、より抽象的なパターン抽出を行うというものである。現在は人工データによる検証を行っている段階であるが、例えば図 4 に示す

ような我々の移動に伴う、階層性のある行動パターンを具体的な題材として従来手法との比較評価を行う予定である。

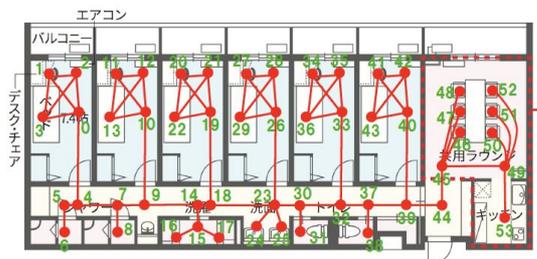


図4：階層性のある移動パターン評価実験

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

[1] Satoshi Kurihara, Ryo Ogawa, Kosuke Shinoda, Hirohiko Suwa, Proposed Traffic Light Control Mechanism Based on Multi-Agent Coordination, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol. 20, No. 5, pp. 803-812, 2016. (査読有)

[2] 栗原 聡, 人工知能の未来とロボット, 日本ロボット工業会機関誌「ロボット」, 232, pp. 7-11, 2016.

[3] 池田圭佑, 鳥海不二夫, 榊 剛史, 風間一洋, 野田五十樹, 篠田孝祐, 諏訪博彦, 栗原 聡, マルチエージェント型情報拡散モデルの提案, 人工知能学会論文誌, Vol. 31, No. 1, pp. 1-13, 2016. (査読有)

[4] Kazuaki Tsuboi, Kosuke Shinoda, Hirohiko Suwa, Satoshi Kurihara, Collective Intelligence-based Sequential Pattern Mining Approach for Marketing Data, Lecture Notes in Computer Science series 8852, pp. 353-361, 2015. (査読有)

[5] Keisuk Ikeda, Yoshiyuki Okada, Fujio Toriumi, Takeshi Sakaki, Kazuhiro Kazama, Itsuki Noda, Kosuke Shinoda, Hirohiko Suwa, and Satoshi Kurihara, Proposal of Multi-Agent Information Diffusion Model for Twitter, Proc. of The 2014 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence, cdrom, pp. 21-26, 2014. (査読有)

〔学会発表〕(計23件)

[1] Kazuaki Tsuboi, Satoshi Suga, Satoshi Kurihara, Hierarchical Pattern Mining Based On Swarm Intelligence, The Genetic and Evolutionary Computation Conference

2017, 2017年07月15日~2017年07月19日, (ドイツ・Berlin)(査読有)

[2] 坪井一晃, 栗原 聡, ACO型時系列パターン抽出法を用いたマーケティングデータの可視化システムの構築, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム2016 (JAWS2016), 2016年09月15日~2016年09月16日, かんぼの宿岐阜羽島(岐阜県・羽島市)(査読有)

[3] 坪井一晃, 須賀 聖, 栗原 聡, 群知能メカニズムによる時系列階層構造を有するパターンの抽出に関する検討, 社会システムと情報技術研究ウィーク, 2017年03月02日~2017年03月05日, ルスツリゾート(北海道・虻田郡)

[4] 栗原 聡, これからのAI研究のKey Stone, システム制御情報学会, 2016年11月16日~2016年11月16日, 大阪大学中之島センター(大阪府・大阪市)(招待講演)

[5] 栗原 聡, Deep Learningが加速させる人工知能のこれから, 2016年度情報処理学会関西支部報告会・記念講演会, 2016年05月24日~2016年05月24日, 京都市リサーチパーク(京都府・京都市)(招待講演)

[6] 栗原 聡, 坪井一晃, 藤田直哉, 芦原佑太, 阿吽の呼吸型対話AI構築を目指して, 人工知能学会汎用AI研究会 第一回研究会, 2015年12月16日~2015年12月16日, 東銀座ドワンゴセミナールーム(東京・銀座)

[7] 芦原佑太, 佐藤 聡, 栗原 聡, CNN型AEとベクトル付加LSTMを用いた, 物体の回転画像の想起モデル, 人工知能学会 汎用AI研究会 第一回研究会, 2015年12月16日~2015年12月16日, 東銀座ドワンゴセミナールーム(東京・銀座)

[8] 芦原佑太, 栗原 聡, 佐藤 聡, Deep Learningにおける中間層の情報表現を利用した物体の外観変化を予測する転移学習モデル, WSSIT2016, 2016年03月01日~2016年03月04日, ルスツリゾート(北海道・虻田郡)

[9] 池田圭佑, 榊剛史, 鳥海不二夫, 栗原 聡, 情報拡散モデルにおける生活パターン導入による拡散再現性向上の検討, WSSIT2016, 2016年03月01日~2016年03月04日, ルスツリゾート(北海道・虻田郡)

[10] 栗原 聡, Deep Learningが加速させる人工知能研究のこれから, Cross-border Symposium, 2016年01月11日~2016年01月11日, 旭川医大(北海道・旭川)(招待講演)

[11]栗原 聡, 加速する人工知能研究の未来, シンギュラリティサロン第 11 回, 2015 年 12 月 26 日~2015 年 12 月 26 日, グランフロント大阪(大阪・梅田)(招待講演)

[12]栗原 聡, Deep Learning がもたらす人工知能の飛躍的進化, 情報通信フロンティアセミナー, 2015 年 12 月 01 日~2015 年 12 月 01 日, ウィンクあいち(愛知・名古屋)(招待講演)

[13]栗原 聡, 汎用人工知能(AGI)実現のための HPC とは?, 神戸理研 研究セミナー, 2015 年 09 月 26 日~2015 年 09 月 26 日, 神戸理研(兵庫・神戸)(招待講演)

[14]栗原 聡, LOD と人工知能と社会の共進化, Linked Open Data チャレンジ Japan2014, 2015 年 09 月 26 日~2015 年 09 月 26 日, 慶應義塾大学(東京・三田)(招待講演)

[15]栗原 聡, 人工知能の研究はどこまで進んでいるか~現状と展望・課題, イノベーション実践研究会, 2015 年 09 月 18 日~2015 年 09 月 18 日, 永楽倶楽部(東京・赤坂)(招待講演)

[16] Kosuke Shinoda, and Satoshi Kurihara, Emergence of Global Network Property based on Multi-agent Voting Model, IC2S2-2015, 2015 年 06 月 08 日~2015 年 06 月 11 日(フィンランド, ヘルシンキ)

[17]楡井泰行, 清田陽司, 諏訪博彦, 篠田孝祐, 栗原 聡, ツイートタイムラインへの階層的クラウドソーシングの適用による住まい探しユーザの背景ニーズ理解, 第 29 回人工知能学会全国大会, 2015 年 05 月 30 日~2015 年 06 月 02 日, 公立ほこだて未来大学(北海道・函館)

[18]坪井一晃, 篠田孝祐, 諏訪博彦, 栗原 聡, ACO 型時系列パターン抽出法を用いたマーケティングデータの考察, 第 29 回人工知能学会全国大会, 2015 年 05 月 30 日~2015 年 06 月 02 日, 公立ほこだて未来大学(北海道・函館)

[19] Kazuaki Tsuboi, Kosuke Shinoda, Hirohiko Suwa, Satoshi Kurihara, Collective Intelligence-based Sequential Pattern Mining Approach for Marketing Data, International Workshop of Socio-Economic Dynamics: Networks and Agent-based Models (SEDNAM), 2014 年 11 月 10 日~2014 年 11 月 13 日, バレンシア(イタリア)(査読有)

[20] Satoshi Kurihara, False Rumor Diffusion Analysis based on The SIR-Extended Information Diffusion Model,

International Symposium of Systems Resilience; Bridging the Gap Between Social and Mathematical, 2015 年 02 月 22 日~2015 年 02 月 26 日, 湘南国際村(神奈川・湘南)(招待講演)

[21] Satoshi Kurihara, The Multi Agent Based Information Diffusion Model for False Rumor Diffusion Analysis, The 3rd International Workshop on Large Scale Network Analysis (LSNA 2014). In conjunction with WWW 2014, 2014 年 04 月 08 日~2014 年 04 月 08 日, ソウル(韓国)(招待講演)

[22]池田 圭佑, 岡田 佳之, 鳥海 不二夫, 榊 剛史, 風間 洋一, 野田 五十樹, 篠田 孝祐, 諏訪 博彦, 栗原 聡, マルチバースト型デマ拡散モデルの検討, JWEIN2014, 2014 年 08 月 21 日~2014 年 08 月 23 日, 電気通信大学(東京・調布)(査読有)

[23]池田 圭佑, 岡田 佳之, 鳥海 不二夫, 榊 剛史, 風間 洋一, 野田 五十樹, 篠田 孝祐, 諏訪 博彦, 栗原 聡, AIDM を用いたデマ情報拡散再現への試みと検討, SIG-ICS178, 2015 年 03 月 02 日~2015 年 03 月 02 日, ルスツリゾート(北海道・虻田郡)

〔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〕

ホームページ

<http://www.ics.lab.uec.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栗原 聡(Kurihara Satoshi)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号: 30397658

(2) 研究分担者

諏訪 博彦(Suwa Hirohiko)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号: 70447580