

平成 31 年 5 月 6 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14283

研究課題名(和文) マルチエージェントディスプレイ

研究課題名(英文) Multi-agent display

研究代表者

東 俊一 (Azuma, Shun-ichi)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：40420400

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)：本研究課題では、マルチエージェントシステムのフォーメーション形成で画像(動画)を表現する「マルチエージェントディスプレイ」の実現を目指した。これを実現するためには表現しようとする動画の速さと、エージェントの最大移動速度の差が問題となる。そこで、グラフ信号のデルタシグマ変換、および、マルチエージェントシステムのカメラ視界被覆に問題を分解し、それぞれについて成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

制御工学においては、2000年以降、マルチエージェントシステムのフォーメーション形成の研究が世界的なブームとなっている。一方、目標とするフォーメーションとして考えられてきたのは、円形やV字など単純な幾何学パターンに限られていた。本研究では、そのような幾何学パターンを超えるフォーメーション形成のための基盤技術が確立された。

研究成果の概要(英文)：In this project, we have addressed a distributed control method to display a given image as a formation of a number of agents (mobile robots), which is called the multi-agent display. As key techniques for the multi-agent display, we have established (a) delta-sigma conversion of graph signals and (b) vision coverage control of multi-agent systems.

研究分野：システム制御工学

キーワード：制御工学 マルチエージェントシステム

1. 研究開始当初の背景

制御工学においては、2000年以降、マルチエージェントシステムのフォーメーション形成の研究が世界的なブームとなっている。一方、目標とするフォーメーションとして考えられてきたのは、円形やV字など単純な幾何学パターンに限られていた。

このような状況において、研究代表者は、図1に示すような枠組みで「画像レベルの表現力をもつフォーメーション形成を実現できれば、新しい応用先を創造できるのではないか？」と考えていた。

これを検証するため、画像を表現するフォーメーション形成の実現可能性を、本課題の予備研究として検討したところ、実に興味深い結果が得られた。図2に示すように、5000台のエージェント（◆印）に対し、目標画像を同図(a)のように与え、ある分散制御法を適用したところ、同図(b)~(d)に示すように、時間の経過とともにエージェント群が目標画像を表現するようなフォーメーションが形成された。この結果は、画像を表現するフォーメーション形成が可能であることを明らかにするものであった。つまり、「マルチエージェントディスプレイ」と呼べるような新しい応用の可能性を示唆するものであった。

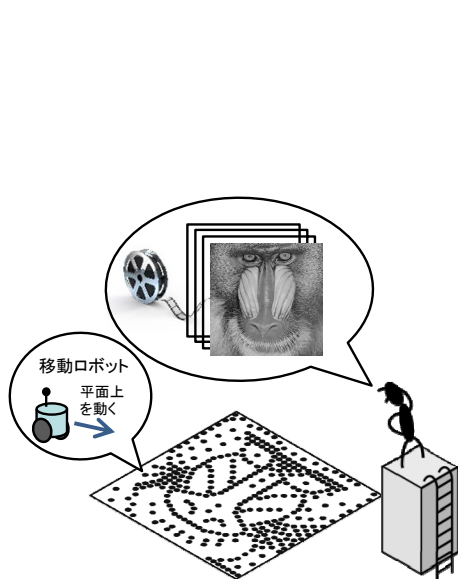


図1 マルチエージェントディスプレイ

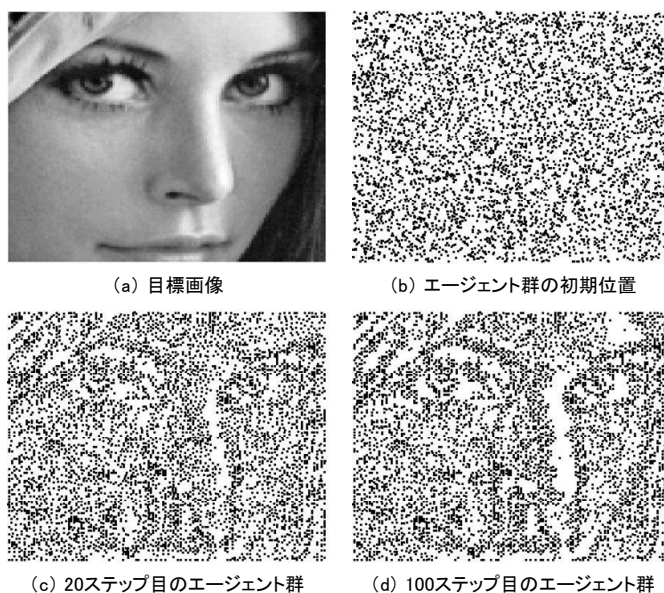


図2 予備研究の結果（静止画像を表現するフォーメーション形成）

2. 研究の目的

このような背景のもと、本課題では、図1に示す「マルチエージェントディスプレイ」の実現に向けた基盤的理論の確立を目指した。特に、動画の表現など、上述の予備実験の結果を本質的に発展させる理論の構築とその実践を目的とした。また、マルチエージェントディスプレイを実現することで、デジタルアートやイベントアトラクションなど、これまで制御工学が対象としていなかった分野への道が拓き、新たな研究分野の創成をも期待した。

3. 研究の方法

(1) 問題設定

マルチエージェントディスプレイの実現問題を、以下の問題と捉えた。

【問題1】離散値の発光装置を備えたエージェントが平面上の任意の位置に固定されたとき、画像をディスプレイする。

【問題2】プロジェクタを備えたエージェントが平面上を自由に移動することで、画像をディスプレイする。

マルチエージェントディスプレイによって動画を表現する際には、表現しようとする動画の速さ（単位時間あたりの変化量）と、エージェントの最大移動速度の差が問題となる。したがって、動画の「速い成分」と「遅い成分」の表現を別々に考えて、組み合わせることが重要である。そこで、前者のために問題1を、後者のために問題2を設定した。

そして、問題1をグラフ信号のデルタシグマ変換の問題として捉え、また、問題2はマルチエージェントシステムの被覆問題（エージェントを空間上に任意の密度で配置する）として捉えて、解を導出することを目指した。

(2) 予想された困難

マルチエージェントディスプレイを実現するためには、目標となる動画像（時間とともに遷移）を表現するようにエージェントを動かし続ける必要がある。この際、エージェントのもつダイナミクスのために（すなわち、瞬間的に遠くへは行けないために）、動画像の時系列を考慮したエージェントの制御が必要とされる。これを実現するためには、動画像の特徴量抽出技術とマルチエージェントシステムの分散制御技術を高いレベルで融合する必要があり、この点に困難が予想された。

4. 研究成果

4. 1 主要成果

(1) 問題1（グラフ信号のデルタシグマ変換）

グラフ信号とは、グラフの各頂点が「信号値」と呼ばれる実数値を有するものである。問題1において、

- ・グラフ信号の頂点：エージェント
- ・グラフ信号の辺：エージェント間の情報交換の経路
- ・グラフ信号の信号値：エージェントの発光強度

と対応付けたとき、マルチエージェントディスプレイ上の画像処理は、グラフ信号の信号処理に相当する。そして、離散値の発光による画像表現は、グラフ信号のデルタシグマ変換に対応する。

そこで本研究では、グラフ信号のデルタシグマ変換の方法を開発した。まず、グラフ上での信号の積分を新たに定義した。そして、グラフの内向木（部分グラフ）を取り出し、その上で、図3に示すような量子化誤差の拡散することで、デルタシグマ変換が可能であることを示した。

本成果に対しては、指導学生がシステム制御情報学会の奨励賞を受賞するなど、高く評価されている。

(2) 問題2（マルチエージェントシステムのカメラ視界被覆）

図4に示されるように、閉空間をエージェントのカメラ視界で覆う問題を、カメラ視界被覆問題という。プロジェクタの投影面をカメラ視界と対応付けたとき、問題2はカメラ視界被覆問題に帰着される。

本研究では、「カメラ視界で閉空間のできるだけ広い部分を覆う」というタスクを表現する評価関数を開発した。そして、その評価関数に対して、システム全体が勾配系（評価関数を減らす方向にシステムが動く）になるような分散制御器を構成することで、カメラ視界被覆が達成できることを明らかにした。

(3) カクタス可拡大なグラフの特徴付け

マルチエージェントシステムを等価変換することで、その性能解析や設計が簡単にできるようになる場合がある。そのような変換のひとつとして知られているのが、カクタス可拡大と呼ばれるものである。これは、マルチエージェントシステムを「カクタス」と呼ばれるネットワーク構造上のものに等価変換することである。本研究では、ブロック線図の等価変換の方法として知られる、「ブロックと引き出し点の交換」に基づいたカクタス可拡大の方法を開発した。

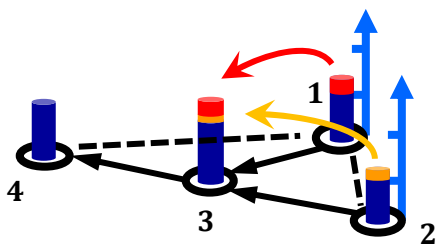


図3 グラフ信号のデルタシグマ変換

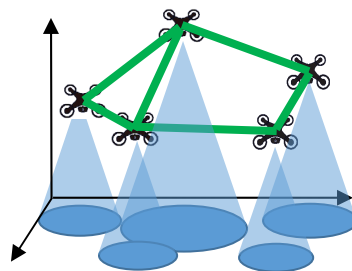


図4 マルチエージェントシステムのカメラ視界被覆

4. 2 未解決問題

本研究によって基盤的な理論が整ったが、マルチエージェントディスプレイを実現のためにはいくつかの課題が残されている。

(1) 技術の統合

「グラフ信号のデルタシグマ変換」と「マルチエージェントシステムのカメラ視界被覆」を統合することで、動画像を表現するようなマルチエージェントディスプレイが実現できると思われるが、本研究期間内でそれらを統合して検証するまでは至らなかった。特に、動画の速い成分と遅い成分の分離をどのようにすべきかの点が未解決となっており、今後この点を明らかにし、動画像の表現技術へつなげることが望まれる。

(2) 実機実験

当初、実機実験を予定していたが、技術開発の進行状況や予算的な関係で、予備的なフィージビリティスタディに留まってしまった。今後、実機によるマルチエージェントディスプレイの実現が強く望まれる。

(3) 他分野への応用

本技術はディスプレイ以外への応用が可能であると予想しているが、実際にどこで活用かのうであるかを明らかにするまでには至らなかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

① Shun-ichi Azuma, Toshimitsu Kure, Takahiro Yoshida, and Toshiharu Sugie, Cactus-expandable Graphs, IEEE Transactions on Control of Network Systems, DOI: 10.1109/TCNS.2018.2875355 (2018) 査読有
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8488547>

[学会発表] (計3件)

① 芋田 総之, 東 俊一, 北尾 太市, 杉江 俊治, グラフ信号の $\Delta\Sigma$ 変換, 第60回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都, 5月25~27日, 152-5 (2016) 査読無

② Nobuyuki Imoda, Shun-ichi Azuma, Taichi Kitao, and Toshiharu Sugie, Delta-sigma Conversion for Graph Signals, 20th IFAC World Congress (IFAC2020), Toulouse, July 9-14, pp. 9713--9717 (2017) 査読有
IFAC-PapersOnLine, Vol. 50, Issue 1, DOI: 10.1016/j.ifacol.2017.08.1177
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896317316737>

③ 堀 勇貴, 東 俊一, 杉江 俊治, マルチドローンシステムによるカメラ視界被覆, 第61回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都, 5月23~25日, 352-4 (2017) 査読無

[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]

受賞: 芋田 総之, システム制御情報学会 奨励賞 (2017.05.24)
学会発表①に対して

6. 研究組織

(1) 研究分担者: なし

(2) 研究協力者: なし