

反応拡散モデルにもとづく 自律分散的なカメラセンサネットワーク 制御機構の提案と評価

兵頭克也, 若宮直紀, 村田正幸
大阪大学 大学院情報科学研究科
先進ネットワークアーキテクチャ講座

2007/10/18 NS研究会 1

カメラセンサネットワーク

- カメラ付き無線ノードを配置し、ネットワークを構成
- 応用例
 - リアルタイム遠隔監視, ホームセキュリティ, 対象追跡(見守り, 不審者監視, 生態調査)

街の見守りシステム

2007/10/18 NS研究会 2

問題点と解決法

問題点

- 輻輳によって遅延・データ損失が発生
 - 高画質・大容量の映像データ
 - 限られた通信容量

解決法

- 通信容量と動画像データの重要度に応じて符号化レートを調整し、総データ量を抑制

符号化レートの分布

制御に対する要求
大量のノード, ランダムなノード配置,
ネットワークポロジの変化

• 拡張性, 適応性, ロバスト性
→ 自律分散制御

2007/10/18 NS研究会 3

問題点と解決法

制御に対する要求を満たしつつ、問題を解決するために、自律分散的なパターン形成モデルである**反応拡散モデル**をパターン形成に使用

符号化レートの分布

制御に対する要求
大量のノード, ランダムなノード配置,
ネットワークポロジの変化

• 拡張性, 適応性, ロバスト性
→ 自律分散制御

2007/10/18 NS研究会 4

反応拡散モデル

- 生物の体表におけるパターン形成の数学モデル
- 創発的なパターン形成
 - 隣接細胞間での局所的な情報交換
 - 体表全体に広がる大局的なパターン
- 生来的に拡張性, 適応性, ロバスト性を有する

シマウマ タテジマキンチャクダイ ヒョウ

2007/10/18 NS研究会 5

反応拡散モデルによるパターン形成

- 二つの仮想的な因子: 活性因子, 抑制因子
- 因子の振る舞い:
 - 反応拡散方程式により表現

$$\frac{\partial u}{\partial t} = F(u, v) + D_u \nabla^2 u + E$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = G(u, v) + D_v \nabla^2 v$$
 - 反応: 因子同士が互いに影響を与え合う
 - 拡散: 細胞間を因子が移動
- 因子の濃度によって、それぞれの細胞の色が決定

2007/10/18 NS研究会 6

センサネットワークへの適用

生物システム

細胞
活性因子
抑制因子
拡散
反応

細胞
活性因子, 抑制因子
拡散
反応
連続系の反応拡散方程式

センサネットワーク

センサノード
活性因子: 1
抑制因子: 2
反応

センサノード
変数
(無線)通信
ノードの演算
離散系の反応拡散方程式

2007/10/18 NS研究会 7

符号化レート制御のためのパターン形成

ノード
撮影領域

活性因子濃度
抑制因子濃度

活性因子の濃度を高める働き

- 移動方向へ広がるスポットパターンを形成(刺激配置)
 - 対象物の移動に備えて, 対象物の移動方向にある隣接ノードの符号化レートを高めに設定しておくため
- パターンの衝突を検知して, パターンを縮小(刺激調整)
 - 動画データ量の合計がそのエリアの通信容量を超えないようにするため

2007/10/18 NS研究会 8

符号化レート制御のためのパターン形成

ノード
撮影領域

活性因子の濃度を高める働き

- 移動方向へ広がるスポットパターンを形成(刺激配置)
 - 対象物の移動に備えて, 対象物の移動方向にある隣接ノードの符号化レートを高めに設定しておくため
- パターンの衝突を検知して, パターンを縮小(刺激調整)
 - 動画データ量の合計がそのエリアの通信容量を超えないようにするため

2007/10/18 NS研究会 9

符号化レート制御のためのパターン形成

ノード
撮影領域

抑制因子のピーク

活性因子の濃度を高める働き

- 移動方向へ広がるスポットパターンを形成(刺激配置)
 - 対象物の移動に備えて, 対象物の移動方向にある隣接ノードの符号化レートを高めに設定しておくため
- パターンの衝突を検知して, パターンを縮小(刺激調整)
 - 動画データ量の合計がそのエリアの通信容量を超えないようにするため

2007/10/18 NS研究会 10

基本動作

- 一定間隔ごとに, 制御を行う
 - 各ノードは非同期に動作

刺激

制御タイミングでのノードの動き

- 対象物の速度に合わせて刺激を設定(刺激配置)
- 周囲に存在する対象物に応じて刺激を調節(刺激調整)
- 反応拡散方程式を計算
- 因子濃度, 刺激情報をまとめてブロードキャスト
- 符号化レートを変更 ex) 活性因子濃度=符号化レート

2007/10/18 NS研究会 11

刺激配置

- 刺激を対象物の前方に減衰させながら配置
 - 刺激には, 刺激量 E , 減衰係数 A , 拡散方向が含まれる

対象物の速度
対象物の移動方向

刺激

$E' = E \times A$ ($0 \leq A < 1$) を計算
(E : 刺激量, A : 減衰係数)

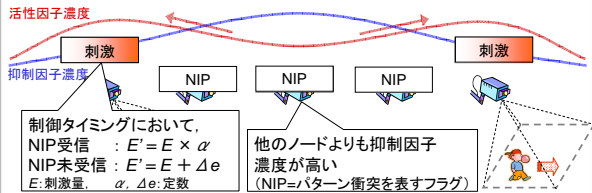
効果

対象物の移動方向に広がる符号化レートの分布が形成できる

2007/10/18 NS研究会 12

刺激調整

- パターンの衝突を検出し、刺激量を調整



効果
 近接する対象物が存在する場合に、そのエリアの局所的な通信容量を超えるような動画像トラヒックの発生を防ぐ

2007/10/18

NS研究会

13

シミュレーション

- シミュレーション設定

- 1 km × 1 km のエリア
- 10 × 10 ノード
- 符号化レート = $\frac{u}{\sqrt{v}}$ Kbps
 u : 活性因子濃度, v : 抑制因子濃度
- 制御間隔: 2 秒
- 局所的な無線通信容量: 2000 Kbps

- 評価のポイント

- 刺激配置: 対象物の速度や位置に応じたパターンが得られるか?
- 刺激調整: 局所エリア内の総符号化レートが通信容量以下に抑えられているか?

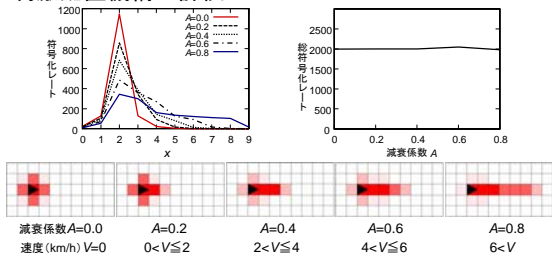
2007/10/18

NS研究会

14

シミュレーション結果(刺激配置)

- 刺激配置機構の評価



総符号化レートを一定に保ちながら、対象物の速度(減衰係数A)に応じて、前方に広がるパターンを形成している

2007/10/18

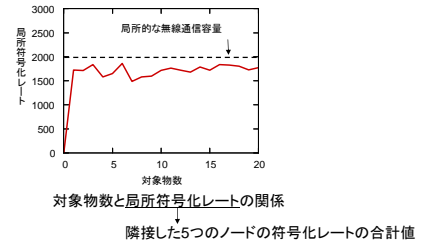
NS研究会

15

シミュレーション結果(刺激調整)

- 刺激調整機構の評価

- 複数のランダムに動く対象物が存在する場合のシミュレーション



局所的な通信容量を超えない符号化レート制御が可能

2007/10/18

NS研究会

16

まとめ・今後の課題

- カメラセンサネットワーク制御機構を提案
 - 自律分散的なパターン形成に基づく符号化レート制御
 - 対象物を捉えるカメラとその周辺の符号化レートのみが上昇
 - 通信容量を超えないような符号化レートの割り当てを実現
- 今後の課題
 - 拡張性, 適応性, ロバスト性, オーバーヘッドの評価
 - 移動速度が速い対象物への対応
 - 不規則なノード配置への対応
 - 実機での実装実験

2007/10/18

NS研究会

17

ご清聴ありがとうございました

2007/10/18

NS研究会

18