

Self-Organizing Topology Control
based on Reaction-Diffusion Model for Data Gathering
in Wireless Sensor Networks

センサネットワークにおける情報収集のための
反応拡散モデルを利用した自己組織型トポロジ形成機構

大阪大学 大学院情報科学研究科
情報ネットワーク学専攻 村田研究室
兵頭 克也

Advanced Network Architecture
Research Group

センサネットワーク

- 無線通信機能を備えたセンサノードを数百、数千配置し、観測した情報を基地局へ収集するシステム
- センサネットワークの課題
 - 集中制御が困難
 - 多数のノードに対する**拡張性**を有する制御
 - 無線環境変化に対する**適応性**を有する制御
 - ノード故障に対する**耐故障性**を有する制御
 - 自己組織的な制御** [4]
 - 電池容量が限られている
 - 消費電力が低い制御
 - リアルタイムな観測が必要
 - 遅延が低い制御

Advanced Network Architecture
Research Group

[4] F. Dressler, Self-Organization in Sensor and Actor Networks, JohnWiley & Sons, Nov. 2007.
2008/2/15 2007年度 修士論文発表会 2

研究の目的と方法

- 研究目的
 - 低消費電力・低遅延な情報収集を実現するトポロジを自己組織的に形成
- 研究方法
 - 情報収集に最適なトポロジの定義
 - 一般的に使用されている6つのトポロジを対象
 - 低消費電力・低遅延を達成するトポロジを定義
 - 指標: 消費電力, 遅延, 消費電力×遅延 [34]
 - ここでは形成方法は問わない
 - 最適トポロジを自己組織的に形成する機構の提案と評価
 - 反応拡散モデルを用いた最適トポロジ形成機構の提案
 - シミュレーション評価
 - 指標: 消費電力×遅延

Advanced Network Architecture
Research Group

[34] S. Lindsey, C. Raghuveer, and K. Sivalingam, "Data Gathering in Sensor Networks using the Energy/Delay Metric," in Proceedings of the 15th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2001), pp. 2001-2008, Apr. 2001.
2008/2/15 2007年度 修士論文発表会 3

トポロジの分類と最適トポロジ

- 多くのシナリオで最適であったトポロジは
 - マルチ/マルチ型
 - 基地局からの距離に応じてクラスタヘッドの密度が異なる
 - 基地局に近い位置 : 高密度
 - 基地局から遠い位置 : 低密度

Advanced Network Architecture
Research Group

2008/2/15 2007年度 修士論文発表会 4

自己組織的な最適トポロジ形成

最適トポロジにおけるクラスタのパターン ← 類似性に着目 → 反応拡散モデルの形成するスポットパターン

- 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
 - 二つの因子(活性因子, 抑制因子)が関与
 - 自己組織的なパターン形成
 - 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
 - 拡張性, 適応性, 耐故障性**を有する[4][23]

反応拡散方程式

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

$$\frac{\partial v}{\partial t} = G(u, v) + D_v \nabla^2 v$$

Advanced Network Architecture
Research Group

[4] F. Dressler, Self-Organization in Sensor and Actor Networks, JohnWiley & Sons, Nov. 2007.
[23] K. Hyodo, N. Wakamiya, E. Nakaguchi, M. Murata, Y. Kubo, and K. Yasagihara, "Experiments and Considerations on Reaction-Diffusion based Pattern Generation in a Wireless Sensor Network," in Proceedings of the 1st IEEE International Workshop: I2PWSN 2007, June 2007.
2008/2/15 2007年度 修士論文発表会 5

反応拡散モデルを用いたトポロジ形成機構

- ノードは隣接ノードと因子濃度情報を交換
- 反応拡散モデルにより周期的に分布するスポットパターンを形成
 - 周期 λ を基地局からの距離に応じて変更 (周期制御)
- ノードは因子濃度の高い方向にセンサ情報を転送
- 因子濃度が高いノード(スポットの中心)にセンサ情報が集中
- クラスタヘッドとなり, 収集したセンサ情報を基地局に送信

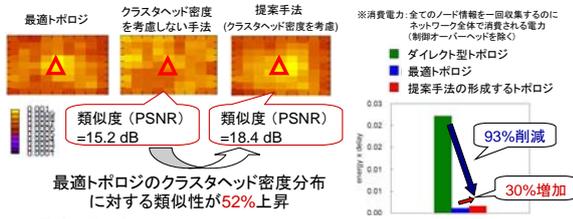
$$\lambda(\rho_{CH}(d_i)) = \frac{2}{\sqrt{\rho_{CH}(d_i)}} \left[\begin{array}{l} d_i = \text{ノード } i \text{ から基地局までの距離} \\ \rho_{CH}(d_i) = \text{ノード } i \text{ の位置での最適なクラスタヘッド密度} \end{array} \right]$$

Advanced Network Architecture
Research Group

2008/2/15 2007年度 修士論文発表会 6

シミュレーション評価

- 最適トポロジと提案手法により自己組織的に形成したトポロジの比較



- 最適トポロジに対して
 - 類似度 (PSNR) が18.4 dB のクラスタヘッドの分布を実現
 - 消費電力 × 遅延が最大30%増加する
- その他のトポロジと比較すると消費電力 × 遅延を最大93%削減できる

2008/2/15

2007年度 修士論文発表会

7

まとめと今後の課題

- まとめ
 - 情報収集のためのトポロジとして、多くのシナリオで、クラスタ内マルチホップ/クラスタ間マルチホップが優れていることを明らかにした
 - クラスタ内マルチホップ/クラスタ間マルチホップ型トポロジを自己組織的に形成するため、反応拡散モデルを用いた手法を提案し、最適に近いトポロジを形成できていることを示した
- 今後の課題
 - 情報収集機構への拡張
 - 反応拡散方程式の収束時間の高速化
 - 同様のトポロジを形成する他の手法との比較

2008/2/15

2007年度 修士論文発表会

8