

Advanced Network Architecture Research Group

制御時間スケールに着目した 管理型自己組織化制御に基づくネットワークの設計手法

大阪大学 大学院情報科学研究科
小南大智
村田正幸

2012/8/10 NetSci-CCS 合同ワークショップ

Advanced Network Architecture Research Group

管理型自己組織化制御に基づくネットワーク

- 大規模複雑化する通信ネットワークを制御する自己組織化制御
- ObserverとControllerの導入による自己組織化の管理^[2]

観測データ アクション

自己組織的に動作するネットワーク

文献[1]で提案されているアーキテクチャーの概要
● ノード
— リンク
→ データの流れ

[2] C. Miller-Schober, H. Schmeck, and T. Ungerer, "Organic Computing—A Paradigm Shift for Complex Systems," Birkhauser, 2011. 1

Advanced Network Architecture Research Group

研究の目的と方法

- 管理型自己組織化制御に基づくネットワークの設計手法の確立
 - 階層型アーキテクチャーの各階層における制御時間スケールの設計指針を明らかにする
 - 環境変動への適応性への考慮が必要
 - 階層間の相互作用により生じる相互干渉への考慮が必要
- 管理型自己組織化制御を用いた経路制御手法^[6]を対象とした設計手法の提案および評価
 - マルチシンクセンサーネットワークを対象としたポテンシャル型経路制御
 - 自己組織的にネットワークにポテンシャル場を構築
 - ポテンシャル場のグラディエントに従った次ホップ選択
 - 望ましいポテンシャル場を形成することで、望ましいトラフィックの流れが実現可能

[6] D. Kominami, M. Sugano, M. Murata, T. Hatachi, "Controlled Potential-Based Routing for Large-Scale Wireless Sensor Networks," in Proceedings of USWMM, 187-195, 2011.

Advanced Network Architecture Research Group

ポテンシャル論を応用した自己組織型経路制御手法^[6]

- 近接作用に基づくポテンシャル場の構築
 - ノード間の局所情報の交換により自己組織的にポテンシャル場を構築
 - 熱拡散方程式を離散化した式を利用

$$\phi(n, t+1) = \phi(n, t) + D(n) \sum_{k \in \text{nb}(n)} \{\phi(k, t) - \phi(n, t)\}$$
- 定期的なポテンシャルの通知および更新が必要
- グラディエントを利用した経路決定
 - 次ホップとして望ましいノードほど低いポテンシャルを所持
 - ポテンシャルがより低い隣接ノードを次ホップに選択

φ : ポテンシャル
t : 時刻
D : 拡散定数
n : ノード
nb : 隣接ノード集合

Sensor node
Sink node

3

Advanced Network Architecture Research Group

管理型自己組織化制御によるトラフィックの大域的制御

- 個々のシンクノードに届くトラフィック量を監視・管理
 - フィードバックを行いながら目的関数に近づける

Report: 各シンクノードからネットワーク全体に関する情報を収集

Control: 各シンクノードのポテンシャルを目的関数に従って変更

Observation: センサーノードがネットワークの様々な情報を収集

Diffusion: ノード間の相互作用によりポテンシャル変化をネットワーク中に拡散

管理型自己組織化制御に基づくネットワーク

Advanced Network Architecture Research Group

環境変動への適応を考慮した制御周期の設計 (1/2)

- 方針: 環境変動の発生する周期よりも短い制御周期を設定
 - 制御周期は下位層ほど短く上位層ほど長い
 - 各階層ごとに適応すべき環境変動は異なる
- 環境変動とその発生周期を網羅し、適応すべき階層とその制御周期を決定
 - ネットワークポロジニーに変化を与える変動を対象
 - チャネル品質の変動、端末の移動、端末の追加・故障・電力枯渇

管理階層による大域的な制御

自己組織型ポテンシャル制御

3次ホップ経路アルゴリズム

物理層における変動

1 ms 10 ms 100 ms 1 s 10 s 100 s 1000 s 10000 s 10⁴ s 10⁵ s 10⁶ s 10⁷ s 10⁸ s 10⁹ s 10¹⁰ s time

チャネル品質の変動 端末の移動 端末の追加・故障 端末の電力枯渇

5

シミュレーション環境

● 環境変動への適応性の評価

- リンクにバースト的なエラーが発生する状況におけるパケット到達率
 - バーストエラーのモデルとしてギルバートモデルを利用
 - 一定周期ごとに、通信可能状態と不可能状態を確率的に遷移
 - ノードが移動する際のパケット到達率
 - ノードの移動モデルとしてランダムウェイポイントモデルを利用

● 階層間の相互作用の評価

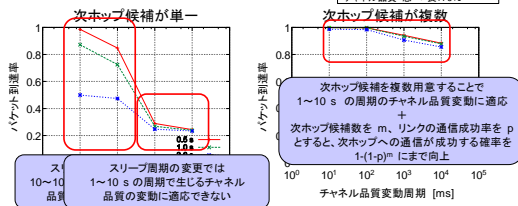
- ポテンシャル通知周期を固定して 2 通りの管理制御周期を設定した際の管理制御の適応速度、安定性
 - ポテンシャルの収束が 90% の時点で管理制御を行うよう設定
 - ポテンシャルの収束が 99% の時点で管理制御を行うよう設定

12

環境変動への適応性の評価

チャンネル品質の変動とデータリンク層における制御

センサノード数 : 100
シンクノード数 : 1 (領域中央)
観測領域 : 500 × 500 m²
パケット発生率 : 0.002 s⁻¹node⁻¹
MAC 層 TTL : 5.0 s
チャンネル品質 良 → 悪 : 30%
チャンネル品質 悪 → 良 : 70%



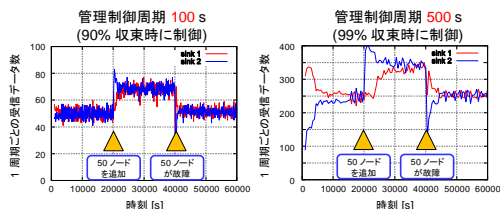
- 適切なスリープ制御周期の設定および次ホップ候補数の設定によりチャンネル品質変動に対する適応性が向上

13

階層間の相互作用の評価

1 周期ごとのデータ受信数が等しくなるようポテンシャルを管理

センサノード数 : 100
シンクノード数 : 2 (領域 2 隅)
観測領域 : 500 × 500 m²
パケット発生率 : 0.01 s⁻¹node⁻¹
ポテンシャル通知周期 : 50 s



- 短い管理制御周期による適応性向上
 - 管理制御によるすばやい適応
- 長い管理制御周期による安定性向上
 - 平均受信データ個数に対する収束後の振動が小さい

14

まとめ

- 管理型自己組織化制御に基づくネットワークの設計手法
 - 環境変動への適応を考慮した制御時間スケールの設定
 - 適切な制御周期により適応性が向上
 - 階層間の相互作用を考慮した制御時間スケールの設定
 - 自己組織化制御の収束速度を考慮して管理制御周期を決定することで安定性が向上
- 今後の課題
 - 適応性および安定性の定量的な評価
 - 異なる周期の環境変動が同時に生じる際の検討

15