

## 脳機能ネットワークに着想を得たロバスト性を有する 仮想センサーネットワーク構築手法

大阪大学 大学院情報科学研究科  
豊永慎也

2014/5/16

## 研究背景

- IoTやEMSの発展とともに、無線センサーネットワーク (WSN)の役割が変化
  - 多様な通信要求、高い通信効率、対故障性を備えたインフラストラクチャーとしてのWSN
  - Heterogeneousなノードやプロトコルの共存

↓

WSNの仮想化技術による解決

## 研究目的

- 仮想無線センサーネットワーク (VWSN) [1]
  - インフラネットワークとアプリケーションを分離
    - 多様な通信要求に対する柔軟性
      - 動的な資源割り当て
    - Heterogeneityへの対応
      - 通信プロトコルの吸収

高い通信性能に加えてロバスト性を  
実現するVWSN構築方法については未検討

↓

高い通信性能とロバスト性を有する  
脳機能ネットワークに着想を得た  
VWSNのトポロジー構築手法を提案

[1] Md. Motaaharui Islam et al., "A Survey on Virtualization of Wireless Sensor Networks", Sensors, vol.12, pp. 2175-2207, Nov. 2012.

## 脳機能ネットワークの 構造的特徴[2]

- 階層的なモジュール構造
  - モジュール内の密な接続、モジュール間の疎な接続
  - モジュールごとの適応による進化可能性
- スモールワールド性
  - 短い平均パス長、高いクラスター性
  - 高い通信効率に寄与

↓

これらの構造的特徴をVWSNの  
仮想トポロジー構築に応用

[2] E. Bullmore et al., "The economy of brain network organization", Nature Reviews Neuroscience, vol.13, pp. 336-349, May 2012.

## 脳機能ネットワークの 構造的特徴に基づくVWSN

- スモールワールドネットワークを階層的に統合することによって  
高い通信性能を有する大規模なVWSNを構築可能

ロバスト性を高くするモジュール間の  
接続方法については分析が必要

## 提案手法の概要

- 第N層VWSNでスモールワールドネットワークを構築
  - 第(N-1)層VWSNを一つの仮想化されたノードとみなす
- 第N層仮想リンクの端点となるセンサーノードを決定
  - 第N層仮想リンクに基づき再帰的に下位層のモジュール間仮想リンクを追加する

# 第N層VWSNでスモールワールドネットワークを構築する方法

## 1. 初期仮想トポロジーの構築

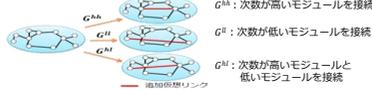
- 第(N-1)層VWSN (Sub<sup>N-1</sup>) を一つの仮想化されたノードとみなす
- Sub<sup>N-1</sup>とSub<sup>N-1</sup>のインフラ層に含まれるセンサーノードが1ホップで通信可能な場合Sub<sup>N-1</sup>とSub<sup>N-1</sup>を第N層仮想リンクで接続する

## 2. 仮想リンクの追加

- 次数と距離制約を考慮した接続確率に従い仮想リンクを追加する

$$p_{intra}^N(\text{Sub}_a^{N-1}, \text{Sub}_b^{N-1}) \propto \frac{G^{intra}(k_{\text{Sub}_a^{N-1}}, k_{\text{Sub}_b^{N-1}})}{F(h(\text{Sub}_a^{N-1}, \text{Sub}_b^{N-1}))}$$

- F: 距離制約のカットオフを表す関数
- G<sup>intra</sup>: モジュールの次数に基づく優先度を表す関数



2014/5/16

7

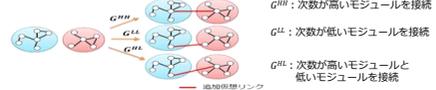
# 第N層仮想リンクの端点となるセンサーノードの決定方法

- 第N層仮想リンクに基づき再帰的に下位層のモジュール間仮想リンクを追加
- 第N層仮想リンクで接続されるSub<sup>N-1</sup>とSub<sup>N-1</sup>において、第(N-1)層仮想リンクを構築

- 次数と距離制約を考慮した接続確率に従い仮想リンクを追加する

$$p_{inter}^N(\text{Sub}_a^{N-2}, \text{Sub}_b^{N-2}) \propto \frac{G^{inter}(k_{\text{Sub}_a^{N-2}}, k_{\text{Sub}_b^{N-2}})}{F(h(\text{Sub}_a^{N-2}, \text{Sub}_b^{N-2}))}$$

- F: 距離制約のカットオフを表す関数
- G<sup>inter</sup>: モジュールの次数に基づく優先度を表す関数

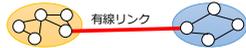


2014/5/16

8

# シミュレーション環境

- シミュレータ: OMNet++(ver.4.3)<sup>[3]</sup>
- ネットワークモデル
  - 200個のセンサーノードから構成されるセンサーネットワークを二つ配置し、それらを一本の有線リンクで接続
  - 提案手法では3層構造のVWSNを構築



- モジュールの最小単位をNewmanアルゴリズム<sup>[4]</sup>による分割で決定
- 比較手法: クラスタリングによるスモールワールドセンサーネットワーク構築手法<sup>[5]</sup>
- 階層構造のないVWSNトポロジーとして評価

[3] Andras Varga, "Omnet++," in Modeling and Tools for Network Simulation, pp. 35-59, Springer Berlin Heidelberg, 2010.

[4] M. E. Newman, "Modularity and community structure in network", PNAS, vol.103, pp. 8577-8582, Apr. 2006.

[5] R. Agarwal et. al, "Achieving small-world properties using bio-inspired techniques in wireless sensor networks", The Computer Journal, vol.55, pp. 909-931, Mar. 2012.

2014/5/16

9

# 評価指標

- スモールワールド性<sup>[6]</sup> ( $\omega$ )

$$\omega = \frac{L_{rand}}{L} - \frac{C}{C_{latt}}$$

$\omega \gg 0$ : ランダムネットワークに近い特徴  
 $\omega \sim 0$ : スモールワールドネットワーク  
 $\omega \ll 0$ : 格子状ネットワークに近い特徴

$L$ : 平均パス長  
 $C$ : クラスタリング係数  
 $L_{rand}$ : ランダムネットワークの平均パス長  
 $C_{latt}$ : 格子状ネットワークのクラスタリング係数

- モジュラリティ<sup>[4]</sup> (Q)

$$Q = \sum_i (e_{ii} - a_i^2)$$

$e_{ii}$ : グループi内のノード同士が接続される割合  
 $a_i^2$ : あるリンクを選択したときに両端がグループiに属する期待値

- ロバスト性

- 次数が高い順にノードが故障するときのネットワークの接続性、VWSNにおける平均パス長 (vAPL) の増加傾向

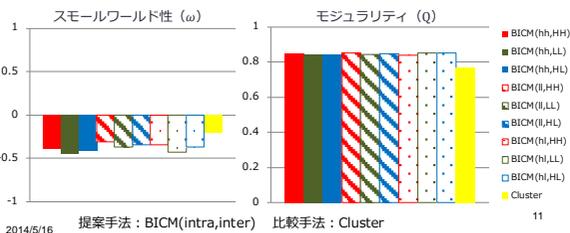
[6] Qaw i.K. Telesford and et. al, "The Ubiquity of Small-World Networks", Brain Connectivity, vol.1, pp. 367-376, Nov. 2011.

2014/5/16

10

# スモールワールド性とモジュラリティの評価

- いずれの手法でもスモールワールド性を示し、高いモジュラリティを有する仮想トポロジーを構築可能

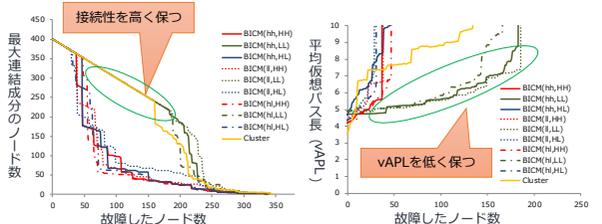


2014/5/16

11

# ロバスト性の評価

- 次数の低いモジュールペアを第N層仮想リンクの端点とするモデルはロバスト性が高いVWSNトポロジーを構築可能



2014/5/16

12

## 結論と今後の課題



- 結論
  - スモールワールド性を有するモジュールを階層的に統合することによりロバスト性の高いVWSNトポロジーを構築
- 検討すべき今後の課題
  - 仮想リンクに対する物理資源割り当て方法
    - 指向性ビーム、送信電力の増減、優先度付きマルチホップ
  - トラフィック需要に応じたトポロジー成長アルゴリズム
  - 複数のVWSN構築要求が存在する場合の省資源なVWSNトポロジー構築手法