

Configuring robust virtual wireless sensor networks for Internet of Things inspired by brain functional networks

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

2014/2/14

村田研究室 豊永慎也

研究背景と目的

- 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
 - 多様な通信要求を満たす柔軟性、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
- 仮想無線センサーネットワーク (VWSN) [1] による解決
 - インフラネットワークとアプリケーションを分離
 - ユーザーの要求に応じたVWSNを構築

高い通信性能に加えてロバスト性を有する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

2014/2/14 [1] Md. Motaharul 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]に基づくVWSN

- 階層的なモジュール構造
 - 階層的な統合により大規模なVWSNを構築することが可能
- スモールワールド性
 - 短い平均パス長による大域的に高い通信効率
 - 高いクラスタ性による局所的に高い通信効率

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VWSNを構築

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

sensor node
module
IP gateway

2014/2/14 [2] E. Bullmore et al., "The economy of brain network organization", Nature Reviews Neuroscience, vol.13, pp. 336-349, May 2012.

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

2014/2/14

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

- 初期仮想トポロジーの構築
 - 第(N-1)層VWSN (Sub^{N-1}) を一つの仮想化されたノードとみなす
 - Sub^{N-1}とSub^{N-1}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_i^{N-1}とSub_j^{N-1}を第N層仮想リンクで接続する
- 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
$$p^{N, \text{intra}}(\text{Sub}_i^{N-1}, \text{Sub}_j^{N-1}) \propto \frac{G^{\text{intra}}(k_{\text{Sub}_i^{N-1}}, k_{\text{Sub}_j^{N-1}})}{F(h(\text{Sub}_i^{N-1}, \text{Sub}_j^{N-1}))}$$
 - F : 距離制約のカットオフを表す関数
 - G^{intra} : モジュールの次数に基づく優先度を表す関数
 - G^h : 次数が高いモジュールを接続
 - G^l : 次数が低いモジュールを接続
 - G^H : 次数が高いモジュールと低いモジュールを接続

2014/2/14

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

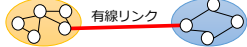
- 第N層仮想リンクに基づき再帰的に下位層のモジュール間仮想リンクを追加
- 第N層仮想リンクで接続されるSub_i^{N-1}とSub_j^{N-1}において、第(N-1)層仮想リンクを構築
 - 次数と距離制約を考慮した接続確率に従い仮想リンクを追加する
$$p^{N, \text{inter}}(\text{Sub}_i^{N-2}, \text{Sub}_j^{N-2}) \propto \frac{G^{\text{inter}}(k_{\text{Sub}_i^{N-2}}, k_{\text{Sub}_j^{N-2}})}{F(h(\text{Sub}_i^{N-2}, \text{Sub}_j^{N-2}))}$$
 - F : 距離制約のカットオフを表す関数
 - G^{inter} : モジュールの次数に基づく優先度を表す関数
 - G^H : 次数が高いモジュールを接続
 - G^L : 次数が低いモジュールを接続
 - G^H : 次数が高いモジュールと低いモジュールを接続

2014/2/14

シミュレーション環境



- 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



- モジュールの最小単位をNewmanアルゴリズム^[3]による分割で決定
- 評価指標
 - 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
 - 次数が高い順にノードが故障するときのVWSNIにおける平均パス長 (vAPL) の増加傾向
- 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^[4]

- 階層構造のないVWSNトポロジーとして評価

^[3] M. E. Newman, "Modularity and community structure in network", PNAS, vol.103, pp. 8577-8582, Apr. 2006.
^[4] 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.

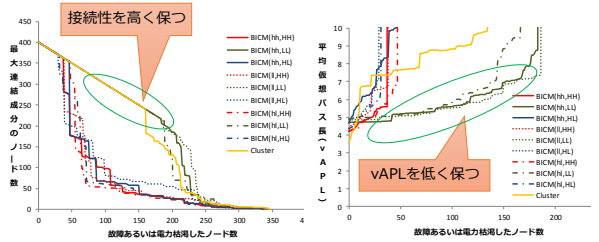
2014/2/14

7

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



2014/2/14

提案手法: BICM(intra,inter) 比較手法: Cluster

8

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

2014/2/14

9