

脳機能ネットワーク特性に着想を得た 無線センサーネットワークのトポロジー制御手法の提案と評価



村田研究室
石倉秀

2014/2/21

研究背景と目的

- IoT の基盤技術としての無線センサーネットワーク (WSN)
 - 多様なトラフィックを収容するために高い通信効率が必要
 - 電池容量の制約による省電力化の要求

↓

低消費電力で高い通信効率を実現する WSN が必要

- 脳機能ネットワーク (BFN) は少ないエネルギーで多様な通信を収容^[1]

BFN の構造的特徴を WSN のトポロジー構築に取り入れることによって低消費電力かつ高通信効率なネットワークを実現

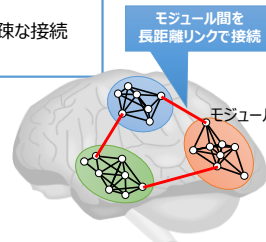
2014/2/21 [1] E. Bullmore and O. Sporns, "The economy of brain network organization," Nature Reviews Neuroscience, vol. 13, no. 5, pp. 336-349, May 2012. 2

BFN の構造的特徴^[2]

- スモールワールド性
 - 平均パス長が短い性質
 - 高い通信効率に寄与
- 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

↓

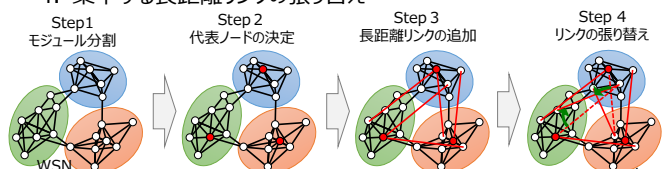
これらの構造的特徴に着目し WSN のトポロジー構築に応用



2014/2/21 [2] D. Meunier, R. Lambiotte, and E. T. Bullmore, "Modular and hierarchically modular organization of brain networks," Frontiers in Neuroscience, vol. 4, no. 200, pp. 1-11, Dec. 2010. 3

提案手法の概要

- 無線センサーネットワークをニューマン法^[3]でモジュール分割
- 長距離リンクの起点となる代表ノードをモジュール毎に決定
 - モジュール内で近接中心性が最も高いノード
 - 近接中心性: 他のノードとの近さを表す
- 必要な本数の長距離リンクを追加
 - 脳機能ネットワークのスモールワールド性に最も近づく長距離リンクを追加
- 集中する長距離リンクの張り替え



2014/2/21 [3] M. E. Newman, "Modularity and community structure in networks," Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 103, pp. 8577-8582, Apr. 2006. 4

長距離リンクの追加

Step.3 : 以下を繰り返し長距離リンクを N 本追加

- 脳機能ネットワークとの差分 $I_{i,j}$ が最小になる代表ノード i とノード j の間にリンクを追加

脳の通信効率との差

$$I_{i,j} = \alpha [E_{i,j} - E_{brain}] + (1-\alpha) [C_{i,j} - C_{brain}]$$

脳のクラスター係数との差

$$C_{i,j} - C_{brain}$$

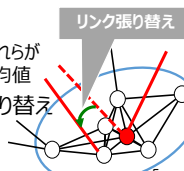
E_{brain}	C_{brain}
0.29	0.35

通信効率とクラスター係数の重み付け

- 通信効率度 (E) : パス長の逆数の平均値
- クラスター係数 (C) : 隣接ノードを 2 つ挙げた時にそれらが互いに接続されている割合の平均値

Step.4 : ハブノードに集中する長距離リンクの張り替え

- 隣接ノード 3 個に対して均等に長距離リンクを張り替える



2014/2/21 [4] P. E. Vertes, A. F. Alexander-Bloch, N. Gogtay, J. N. Giedd, J. L. Rapoport, and E. T. Bullmore, "Simple models of human brain functional networks," Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 109, no. 15, pp. 5869-5873, Aug. 2012. 5

シミュレーションによる評価

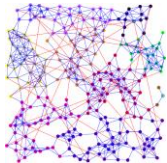
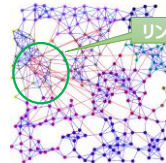
- 3 種類のトポロジーを比較評価
 - 初期トポロジー
 - 250 個のセンサーノードを $500 \times 500 \text{ m}^2$ の観測領域にランダムに配置
 - 各ノードが 50 m 以内のノードとリンクを形成
 - 提案手法により構築したトポロジー
 - I_{ij} における重み付け定数 α を 0.1, 0.5, 0.9 として、長距離リンクを 25 本追加
 - Watts & Strogatz (WS) モデルにより構築したトポロジー
 - 長距離リンクをランダムに 25 本追加
 - スモールワールド性を有する WSN を構築
- 評価指標
 - スモールワールド性: クラスター係数、平均パス長
 - 消費電力: 追加リンクを通信に用いた場合の消費電力量の合計をフリスの伝達公式^[5]で受信電力を定数にして算出
 - 平均パス長の耐故障性: 次数順にノードが故障する際の平均パス長

2014/2/21 [5] H. T. Friis, "A note on a simple transmission formula," Proceedings of the Institute of Radio Engineers, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May 1946. 6

提案手法の性能評価

- α の値が大きい場合に低コストかつ短い平均パス長を達成
- $\alpha \geq 0.5$ の区間で既存手法のWSモデルよりも低コストで高性能

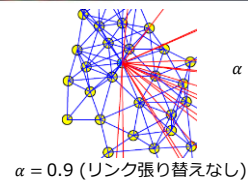
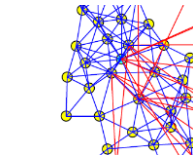
トポロジー	クラスター係数	平均パス長(hop)	消費電力
初期トポロジー	0.53	7.70	0
WS	0.50	5.00	2.63
提案手法($\alpha=0.1$)	0.49	4.74	3.73
提案手法($\alpha=0.5$)	0.50	4.17	2.53
提案手法($\alpha=0.9$)	0.52	4.11	2.22

 $\alpha = 0.1$  $\alpha = 0.9$

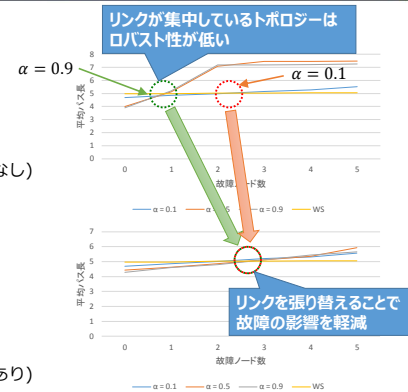
2014/2/21

7

提案手法のロバスト性評価

 $\alpha = 0.9$ (リンク張り替えなし) $\alpha = 0.9$ (リンク張り替えあり)

2014/2/21



8

結論と今後の課題

- 結論
 - 脳機能ネットワークの構造的特徴を WSN に応用することで WS モデルで作成したトポロジーより少ない消費電力で高い通信効率を達成
 - 提案手法によって構築したトポロジーは選択的故障に対して脆弱性があるがリンクの張り替えによって緩和可能
- 今後の課題
 - トラフィックを考慮した場合の性能の評価
 - トラフィック需要に適應するトポロジーの成長制御

2014/2/21

9