

### 集団的な行動選択の仕組みに着想を得た不確実な情報に基づくチャンネル選択手法の提案と評価

○久世尚美、小南大智、加嶋健司、橋本智昭、村田正幸

### 背景

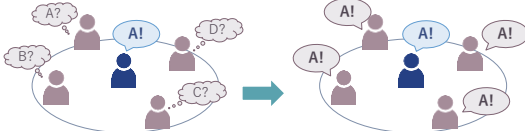
- ネットワークの大規模化、多様化
  - IoT技術の発展に伴うネットワークを介したサービスの浸透
- 自己組織型システム
  - 高い拡張性、適応性、頑健性を有するマルチエージェントシステム
  - 個々の構成要素の局所的な相互作用に基づく機能の創発
  - 個々の構成要素の観測可能な**情報が不確実（不完全、曖昧、動的）**
  - システム全体の最適性が保障されず、性能が低下する可能性



- 集団的な行動選択の仕組みを応用
  - 各構成員の観測情報が不確実なものでありながら、局所的な情報交換を介した協調により、グループ全体として適切な行動の選択を達成

### Flexible leader の概念<sup>[1]</sup> の応用

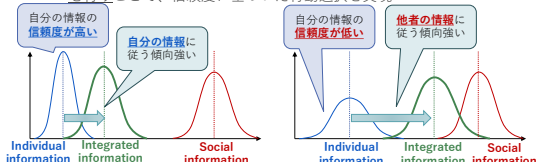
- Flexible leader の概念<sup>[1]</sup>
  - ヒトのグループにおいて意思決定を行う際、保有する情報の信頼度の高い構成員に追従する傾向がある
  - 信頼度の高い構成員に追従することでグループ全体として適切な選択が実現
- ネットワーク制御へと応用
  - ネットワークが大規模化、多様化する中で、個々のノードが観測可能な不確実な情報に基づきながらも、ノード間の協調を通して信頼度の高いノードに追従、適切な選択を実現可能



[1] R. H. J. M. Kurvers, M. Wolf, M. Naguib, and J. Krause, "Self-organized flexible leadership promotes collective intelligence in human groups," *Royal Society Open Science*, vol. 2, Dec. 2015.

### Individual/social information の統合<sup>[2]</sup>

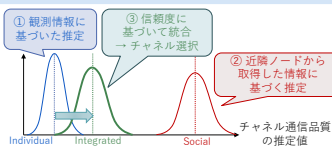
- 信頼度に基づいた individual/social information の統合
  - Individual information ... 自身の保有・観測する情報
  - Social information ... 他者から取得した情報
- Individual/social information が正規分布に従うと仮定
  - 分布の平均が判断結果・基準、分散がその曖昧さ（信頼度の低さ）
  - 信頼度の低さ（曖昧さ）を分散として表現し、分散に基づいて統合を行うことで、信頼度に基づいた行動選択を実現



[2] S. A. Park, S. Goiake, D. A. O'Connor, and J. C. Dreher, "Integration of individual and social information for decision-making in groups of different sizes," *PLoS Biology*, vol. 15, pp. 1-28, June 2017.

### Flexible leader の概念を応用したチャンネル選択手法の提案

- 無線センサネットワークにおけるチャンネル選択
  - ネットワークを介したサービスが身近になる一方、複数のサービスが重複する環境下でチャンネル資源を適切に割り当てる必要性
  - 通信品質はノードの位置や時間に依存するため、全てのノード、チャンネルの情報を一元的に管理することは困難
- 提案手法
  - 局所的に観測可能な情報、近隣のノードからの取得可能情報、およびそれらの信頼度に基づいてチャンネルの通信品質を推定
  - 通信品質が高いと推定されるチャンネルを選択



### 観測情報に基づくチャンネル通信品質の推定 (Individual information の計算)

- Individual information
    - ノード  $i$  において、チャンネル通信品質の真の評価値  $D$  が与えられたときの、 $v_{(i,j)}$  に基づく通信品質推定値  $\hat{D}_i$  が正規分布に従う
- $$p(D_i | D) \sim N(v_{(i,j)}, \tau_{(i,j)}^2)$$
- 通信品質推定値の平均 推定値の分散（信頼度の低さ）
- 通信品質：チャンネルが通信可能（アイドル）である時間の割合
  - 観測値  $v_{(i,j)}$ ：一定期間における、チャンネル  $j$  が通信可能（アイドル）であると観測された割合

分布の更新

$$v_{(i,j)} \leftarrow (1 - \alpha)v_{(i,j)} + \alpha v_{(i,j)}$$

$$\tau_{(i,j)}^2 \leftarrow (1 - \alpha)\tau_{(i,j)}^2 + \alpha(1 - \alpha)(v_{(i,j)} - v_{(i,j)})^2$$

$\alpha$ : パラメータ

### 局所的な情報交換に基づく通信品質の推定 (Social information の計算)

- Social information
  - チャンネル  $j$  の通信品質の真の評価値  $D$  が与えられたとき、隣接ノードからのチャンネル  $j$  に関する情報に基づく通信品質推定値  $D_s$  が正規分布に従う
 
$$p(D_s|D) \sim N(\mu_{(i,j)}, \sigma_{(i,j)}^2)$$
 信頼度の高い隣接ノードにおける情報に基づいた推定値
 
$$\mu_{(i,j)} \leftarrow \frac{\sum_{x \in N_{conf}(i)} v(x,j)}{|N_{conf}(i)|}$$
 分散 (信頼度の低さ)
 
$$\sigma_{(i,j)}^2 \leftarrow \frac{\tau_{(i,j)}^2 \sigma_{(i,j)}^2}{\tau_{(i,j)}^2 + \sigma_{(i,j)}^2}$$
- 分布の更新
  - 平均  $\mu_{(i,j)}$ : 隣接ノードから受け取った情報の内、分散  $\tau^2$  が閾値  $T_{\tau^2}$  以下 (信頼度が一定以上) のノードにおける観測値の平均  $v$  の平均
 
$$\mu_{(i,j)} \leftarrow \frac{\sum_{x \in N_{conf}(i)} v(x,j)}{|N_{conf}(i)|}$$

$$N_{conf}(i): \text{ノード } i \text{ の隣接ノードの内、分散 } \tau^2 \text{ が閾値 } T_{\tau^2} \text{ 以下のノード集合}$$
  - 分散  $\sigma_{(i,j)}^2$ : 定数  $\sigma_0^2$

### 信頼度に基づく情報の統合 (Individual/social information の統合)

- ノード  $i$  において、individual/social information が与えられたとき、チャンネルの通信品質  $D$  は下記正規分布で仮定
 
$$p(D|D_s, D_i) \sim N(\phi_{(i,j)}, \rho_{(i,j)}^2)$$
- 通信品質の従う分布の平均  $\phi_{(i,j)}$ 、分散  $\rho_{(i,j)}^2$  は
 
$$\phi_{(i,j)} \leftarrow \frac{\tau_{(i,j)}^2 \mu_{(i,j)} + \sigma_{(i,j)}^2 v_{(i,j)}}{\tau_{(i,j)}^2 + \sigma_{(i,j)}^2}$$

$$\rho_{(i,j)}^2 \leftarrow \frac{\tau_{(i,j)}^2 \sigma_{(i,j)}^2}{\tau_{(i,j)}^2 + \sigma_{(i,j)}^2}$$

統合の結果得られた通信品質の平均が最も高いチャンネルを選択

### シミュレーション評価

- 提案手法の有効性を評価
  - 環境変動時の適応性
    - チャンネルの通信品質変動時のチャンネル選択
    - 観測情報の不確実な環境下での挙動
    - 信頼度の低いノードが存在する場合のチャンネル選択
- 対象ネットワーク
  - ノード 100 個 (センサ 96 個、シンク 4 個)
- 比較手法 (信頼度を考慮しない手法)
  - Individual/social information の分散を共に定数で与える
- シナリオ
  - チャンネル 1~5 から通信品質の高いチャンネルを選択
    - 各ノードの観測チャンネルは
    - チャンネル 1~5 の内、ランダムに割り当てられた 1 チャンネルと、
    - ノードがその時点で選択しているチャンネルとの最大 2 チャンネル
  - 20 個のノード (図の緑ノード) において、
  - チャンネルの通信品質が変化、
  - ノードのチャンネル観測精度が低下した際の挙動をそれぞれ評価

### 環境適応性

<提案手法>  $T_{\tau^2} = 5.0, \sigma^2 = 0.5$   
 <比較手法>  $\tau = 0.5, \sigma^2 = 0.5$

- チャンネルの通信品質が変動した際の挙動
  - 比較手法の方が適切なチャンネルを選択しているノードの割合が高いが、データパケットの衝突数にはほとんど差異が見られない
  - 提案手法では、individual/social information が信頼度に基づいて統合されるため、チャンネル品質の異なる境界付近で誤ったチャンネルが選択される場合がある

### 観測精度の低いノードが存在する環境

- チャンネルの観測精度が変動した際の挙動
  - 信頼度を考慮した提案手法では、多くのノードにおいて、通信品質の高い適切なチャンネルが選択され、データパケット到達率 97%
  - 観測精度が individual information の分散に反映され、信頼度の高いノードの情報に追従する傾向
  - 信頼度を考慮しない比較手法では、適切なチャンネルの選択が行われるノードが減少し、データパケットの到達率が 89%

### まとめと今後の課題

- まとめ
  - 集団的な行動選択の仕組みに着想を得たチャンネル選択手法
  - 不確実な情報に基づいた自己組織化制御の実現
  - 環境変動に対する適応性
  - 信頼度の低い情報を有するノードが存在する環境下での適切な制御
- 今後の課題
  - 提案手法の適用範囲の明確化
    - 信頼度の低いノードの数の影響
    - ノードの観測情報の信頼度の変動の影響
    - パラメータの影響