

Proposal and evaluation of an inter-networking mechanism using stepwise synchronization for wireless sensor networks

パルス結合振動子モデルにもとづく段階的同期によるネットワーク間協調手法の提案

大阪大学 大学院情報科学研究科  
情報ネットワーク学専攻 村田研究室  
山本 宏

### アンビエント社会の実現に向けた課題

- ▶ 複数のセンサネットワークの共存, 連携の必要性
  - ▶ 例) 個人, 家屋, 道路などに設置  
データの共有により状況に応じたサービスの提供  
➡ ネットワーク協調が必要
- ▶ センサネットワークごとの運用ポリシーの相違
  - ▶ 例) 動作周期の違いなど
- ▶ ポリシーの異なるネットワーク間の通信は困難  
➡ ネットワークの動的な結合, 分離機構が必要

1 2010.2.17

### センサネットワーク協調における要求

- ▶ ネットワークを構成するノード数が多い
  - ▶ 集中制御は困難
  - ▶ 制御が自己組織的であることが望ましい
- ▶ 電力制約が大きい
  - ▶ ノードは電池で駆動
  - ▶ スリープ制御により通信可能なタイミングが短い
  - ▶ 受信ノードの動作復帰までの待ち時間に伴い電力を消費
  - ▶ 協調による消費電力が低いことが望ましい

パルス結合振動子モデルにもとづく段階的同期によるネットワーク間協調

2 2010.2.17

### パルス結合振動子モデル

- ▶ 蜂の群れの集団同期明滅を説明する数学モデル
  - ▶ 蜂における 明滅周期のタイマー の自律分散的な調節機構を振動子における 刺激による相互作用と状態偏移 で説明
- ▶ 振動子はタイマ位相( $\phi$ )と状態( $x$ )を保持
  - ▶ タイマ位相 (phase):  
線形単調増加,  $0 \leq \phi \leq 1$
  - ▶ 状態 (state):  
非線形単調増加,  $0 \leq x \leq 1$

$$\begin{cases} \frac{d\phi}{dt} = F & \text{: 固有周波数 } (F) \\ x = \frac{1}{b} \ln[1 + (e^b - 1)\phi] \end{cases}$$

3 2010.2.17

### パルス結合振動子モデル

- ▶ 位相 ( $\phi$ ) と状態 ( $x$ ) を持つ ( $0 \leq \phi \leq 1, 0 \leq x \leq 1$ )
- ▶ 位相, 状態 が1に達すると“発火”する
- ▶ 発火: 位相, 状態を0に戻し, 隣接する振動子へ刺激を与える
- ▶ 刺激を受けると位相, 状態の値を偏移させる

4 2010.2.17

### 段階的同期によるネットワーク間協調

- ▶ PCOモデルを拡張し, 段階的同期に応用
  - ▶ PCOのパラメータの違いによる相互作用の強さの違いに着目
- ▶ 境界からの位置に応じて段階的に動作周期を調整
  - ▶ 境界ノードの緩衝により 通信遅延, 消費電力を抑制

効率的ネットワーク協調を実現

5 2010.2.17

### 段階的同期によるネットワーク間協調

- PCOモデルを拡張し、段階的同期に応用
  - ネットワークの境界からの距離にあわせて ( $b, \epsilon$ ) を設定
    - 境界に近いノード: 大きな値により引き込みを強く
    - 境界から遠いノード: 小さな値により引き込みを弱く

Node ( $b=3.0, \epsilon=0.1$ )  
 Node ( $b=3.0, \epsilon=0.1$ )  
 Node ( $b=5.0, \epsilon=0.3$ )  
 Node ( $b=4.0, \epsilon=0.2$ )

operational frequency  
 Network<sub>1</sub> Network<sub>2</sub>

operational frequency  
 Network<sub>1</sub> Network<sub>2</sub>

▶ 6 2010.2.17

### 性能評価: シミュレーション評価

- シミュレーション設定
  - ノード数 : 100
  - 周期  $F_1$  : [0.05, 0.06]
  - 周期  $F_2$  : [0.20, 0.24]
  - 領域 : 10 x 10
  - 隣接 4ノードと通信可能
  - X-MACを利用
    - アクティブ時間 : 20ms
    - スリープ時間 : 200 ms
    - 10周期に1回データを生成
  - 内部同期用パラメータ
    - $b=3.0, \epsilon=0.1$

$F_1$   $F_2$

ノード配置

$F_1$   $F_2$

協調用パラメータ設定

▶ 7 2010.2.17

### 性能評価: シミュレーション結果

段階的に動作周期の調整  
 段階的同期を実現

協調開始

length of cycle [ms]  
 elapsed time [s]

Node (1, 5)  
 Node (2, 5)  
 Node (3, 5)  
 Node (4, 5)  
 Node (5, 5)  
 Node (6, 5)  
 Node (7, 5)  
 Node (8, 5)  
 Node (9, 5)  
 Node (10, 5)

▶ 8 2010.2.17

### 性能評価: シミュレーション結果 (通信遅延)

境界を挟むホップの遅延の中央値

time [ms]  
 duty ratio

independent  
 synchronized  
 proposal

エンド間での遅延の中央値

time [ms]  
 duty ratio

通信遅延が増加  
 改良が必要

▶ 9 2010.2.17

### 性能評価: シミュレーション結果 (消費電力)

通信時間の総和

number  
 duty ratio

independent  
 synchronized  
 proposal

ブロードキャスト通信の回数

number  
 duty ratio

段階的同期によりブロードキャストの頻度の増加を抑制

完全同期と比較し  
 低消費電力化を実現

▶ 10 2010.2.17

### まとめと今後の課題

- まとめ
  - パルス結合振動子モデルもつづ段階的同期によるネットワーク間協調手法を提案
  - シミュレーション評価によって
    - 段階的な動作周期の調整が実現できることを確認
    - 完全同期する場合と比較し、低消費電力化できることを確認
    - ネットワーク内での同期のずれが原因で通信遅延の増加を確認
- 今後の課題
  - 提案手法の改良
    - 最適な周期の割り当てと最適な周期への調整法の検討
    - パラメータ ( $b, \epsilon$ ) の設定基準の検討
  - 提案手法の詳細な性能評価

▶ 11 2010.2.17