



# センサネットワークの 時刻同期手法における ロバスト性の評価

牟田園 明†, 菅野 正嗣‡, 村田 正幸†  
†大阪大学  
‡大阪府立大学



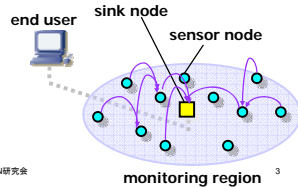
## 目次

- 研究の背景
- 研究の目的
- 評価対象とする時刻同期方式
- シミュレーションによる比較評価
- まとめと今後の課題



## センサネットワーク

- 数百～数千個のセンサ端末を配置
- 環境情報を収集
  - 温度、湿度、位置、光、音など
- 様々なサービスを提供
  - 環境観測
  - ホームセキュリティ



## センサ端末

- 不規則な配置
- 追加や故障
- 限られた通信距離
- **不確実な通信**

ロバスト性

- バッテリーで動く小型の装置
- バッテリーの交換は困難



## 電力消費の抑制

- スリープ制御
  - センシングや情報収集に関わらない端末をスリープ
- スケジューリング
  - 効率の良いデータ収集によりパケットの衝突を防ぐ
- クラスタリング
  - 近距離端末との接続により通信距離を低減
    - 電力消費は通信距離の2乗に比例



## 時刻同期の必要性

- 電力消費の抑制には時刻情報が必要
- 時刻情報を含むデータの収集
- 全ての端末の時刻が同じとは限らない
  - クロック周波数の違い
  - 新規端末の追加

定期的な時刻同期が必要



## 従来の時刻同期手法

- NTP (Network Time Protocol)
  - サーバの時刻にクライアントを同期
  - 同期のとれた複数のサーバが必要
- GPS (Global Positioning System)
  - 衛星情報を用いて同期
  - コストが高い

これらの手法はセンサネットワークに適していない

2008/2/23

IN研究会

7



## 研究の目的

- これまでの研究の問題点
  - 時刻同期手法の比較評価は十分に行われていない
  - 下位レイヤによる影響が考慮されていない
    - CSMA/CAによる遅延
    - パケット損失
- 対象とする時刻同期手法
  - 自律分散制御方式
  - 集中制御方式

下位層の影響を考慮しつつロバスト性を比較評価する

2008/2/23

IN研究会

8



## PCO [1]

### Pulse Coupled Oscillator

- 生物界における同期メカニズムをモデル化
  - 蛍の発光や心臓のペースメーカー細胞などに着想



[1] R. Mirollo and S. Strogatz, "Synchronization of pulse-coupled biological oscillators," Journal of Applied Mathematics, vol. 50, pp. 1645-1662, Dec. 1990

2008/2/23

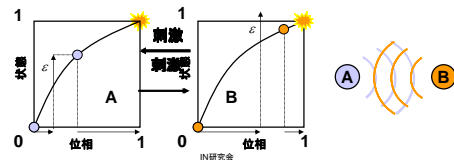
9



## PCO

### Pulse Coupled Oscillator

- 自律分散型の時刻同期手法
  - 近隣の端末との相互作用のみによって同期を達成
  - パラメータ  $\epsilon$  の設定が重要
  - ノード間のやりとりにおける遅延が考慮されていない



2008/2/23

IN研究会

10



## PCO

### Pulse Coupled Oscillator

- Reachback Firefly Algorithm [3] により遅延を考慮
  - 発火時刻をタイムスタンプに含ませる
    - CSMA/CAによる遅延を受け手に知らせる
  - 発火の影響をスタックに保存
    - 一定時間待った後に位相を変化
- パケットレベルのPCOを大規模なネットワークに適用

[2] G. Werner-Allen, G. Tewari, A. Patel, M. Welsh and R. Nagpal: "Firefly-inspired sensor network synchronicity with realistic radio effects", Proceedings of the 3<sup>rd</sup> ACM International Conference on Embedded Network Sensor System, pp. 142-153 (2005)

2008/2/23

IN研究会

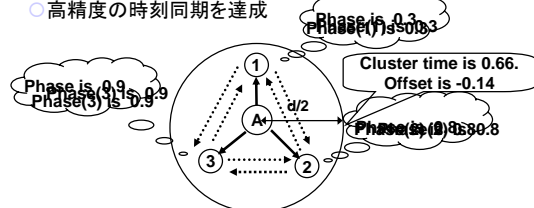
11



## RBS [3]

### Reference Broadcast Synchronization

- 集中型の時刻同期手法
  - 相対的な時間をやりとり
  - 高精度の時刻同期を達成



[3] J. Elson, L. Girod, and D. Estrin, "Fine-grained network time synchronization using reference broadcast," In Proceedings of Operational Systems and Design Implementation, vol. 36, pp. 147-163, Dec. 2002.

2008/2/23

IN研究会

12

Advanced Network Architecture Research Group  
http://www.anarg.jp

## マルチホップRBS

- RBSはネットワークの規模の拡張性に欠ける
- RBSをマルチホップ型に拡張
  - ネットワーク全体をクラスタに分割
  - クラスタごとにRBSを適用
  - 相対的な同期時刻をマルチホップに伝達
  - ACKを用いた確実な通信方法によってデータ交換
- 計算機上でシミュレーションを行い評価

2008/2/23 IN研究会 13

Advanced Network Architecture Research Group  
http://www.anarg.jp

## マルチホップRBS

☆ Sink  
▲ Cluster head  
○ Gateway node

schedule information  
synchronization time information  
cluster information  
RBS information  
announce

2008/2/23 IN研究会 14

Advanced Network Architecture Research Group  
http://www.anarg.jp

## シミュレーションモデルおよび性能尺度

- 円形状の観測領域に端末をランダムに配置
- CSMA/CAの上位層として時刻同期方式を実装
- 評価指標
  - 時刻同期するノードの割合
  - ネットワーク全体が時刻同期する確率
  - 時刻同期を確立するまでの時間

2008/2/23 IN研究会 15

Advanced Network Architecture Research Group  
http://www.anarg.jp

## PCOの状態変位幅 $\epsilon$ の設定

- $\epsilon$  を適切に設定しなければPCOは同期できない
- トポロジに応じた最適な値が存在する

Ratio of synchronized nodes  
Time to synchronization [sec]  
 $\epsilon = 0.0008$

2008/2/23 IN研究会 16

Advanced Network Architecture Research Group  
http://www.anarg.jp

## ネットワークの規模に対する拡張性

- PCOは広範囲の観測領域で有効
- マルチホップRBSは短時間で同期可能

Ratio of synchronized nodes  
Time to synchronization [sec]  
Radius of monitoring region [m]

PCO  
マルチホップRBS  
ノード間の強いコネクティビティが必要  
アクセス遅延の蓄積

2008/2/23 IN研究会 17

Advanced Network Architecture Research Group  
http://www.anarg.jp

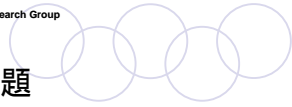
## パケット損失に対するロバスト性

- 端末の通信距離をPCO(50m)、マルチホップRBS(100m)に設定
- 不安定な通信環境においてPCOは有効

Probability of synchronization  
Packet loss rate

マルチホップRBS  
PCO  
クラスタ内での時刻誤差がマルチホップ通信により伝播  
繰り返し刺激を与え合うことでパケット損失の影響を補う

2008/2/23 IN研究会 18



## まとめと今後の課題

- 下位層の影響を考慮した比較評価
  - PCO
    - 無線通信品質によらず安定した性能
    - 広範囲の観測領域にわたって有効
  - マルチホップRBS
    - 限定された条件下で短時間に高精度の同期を実現可能
- 今後の課題
  - ネットワーク環境に応じたPCOの $\epsilon$ の設定
  - マルチホップRBSに適したクラスタリング手法の検討
  - 電力消費についての評価