

Advanced  
Network  
Architecture  
Research Group

## センサネットワークのための 進行波型通信機構

谷口義明 若宮直紀 村田正幸  
大阪大学 大学院情報科学研究科  
y-tanigu@ist.osaka-u.ac.jp

2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 1

## 発表内容

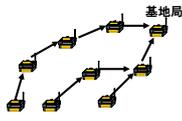
- 研究の背景
- センサネットワークのための進行波型通信機構
  - パルス結合振動子モデルを利用
- シミュレーションによる性能評価
  - Directed Diffusionとの比較
- 実機実験の様子
  - MICAz MOTEへの実装
  - デモンストレーション映像
- まとめと今後の課題

2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 2

## センサネットワーク

- 無線通信機能を有するセンサ端末を多数配置
- 環境情報を収集、利用
  - 農場・工場監視、生態観測、大気観測等
- センサ情報収集機構への要求事項
  - 電力効率の良い制御
    - 電池駆動、交換コスト
  - 自律分散的な制御
    - 多数のセンサ端末が配置
  - 拡張性、単純性、ロバスト性

生物に着想を得たネットワーク制御



2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 3

## 蛍の群れの集団同期明滅

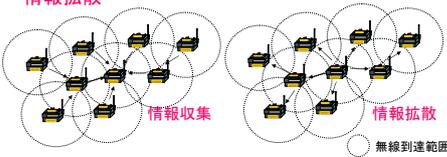
- 蛍の群れは同期して明滅(集団同期)  
あるいは明滅が伝播する(進行波)



2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 4

## 本研究の目的

- 進行波に着想を得た様々な形態の通信に自律的に適応する通信機構を提案
  - 全センサ端末から基地局への周期的な情報収集
  - 情報発生源からセンサネットワーク全体への周期的な情報拡散



2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 5

## 進行波を使う利点

- メッセージ送出タイミングの制御を行うことで、効率的なスリープ制御が可能
  - 電力効率が良い
- 局所的な相互作用で進行波を生成可能
  - 拡張性
  - 自律分散性
  - トポロジ変化に対するロバスト性
- ただし、
  - 進行波生成までに時間がかかる

2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 6

## パルス結合振動子モデル

- 振動子は位相を持つ  $\phi_i \in [0, 1]$
- 位相が 1 に達すると発火し 0 に戻る
- 振動子  $i$  が発火すると、結合関係にある振動子  $j$  は刺激を受け位相を  $\Delta(\phi_i)$  だけ偏移

2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 7

## 完全同期状態と進行波状態

- 初期位相や PRC  $\Delta(\phi)$  の特性により、振動子の集合は以下のような状態に収束する

**完全同期状態**  
全ての振動子が同時に発火

**進行波状態**  
振動子間で位相差を持って発火

2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 8

## さまざまな進行波

- パラメータやPRCを調整することでさまざまな進行波を作ることができる

- Line
  - Two-dimensional

2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 9

## 進行波を生成するPRC

- 初期位相によらず情報収集状、情報拡散状の進行波を生成するためのPRCの条件は
 
$$\begin{cases} 0 < \Delta(\phi) \leq 1 - \tau - \phi & (0 \leq \phi < 1 - \tau) \\ \Delta(\phi) = 0 & (\phi = 1 - \tau) \\ 1 - \tau - \phi \leq \Delta(\phi) < 0 & (1 - \tau < \phi < 1) \end{cases}$$
- PRCの例
 
$$\Delta(\phi) = a \sin \frac{\pi}{1 - \tau} \phi + b(1 - \tau - \phi)$$

a, b: 進行波生成までに要する時間を決めるパラメータ  
 $0 < \tau < 0.5$ : 位相差  $\tau$  での拡散状の進行波を生成  
 $0.5 < \tau < 1$ : 位相差  $1 - \tau$  での収集状の進行波を生成

2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 10

## センサ端末の持つ情報

- センサ端末  $i$  の持つ制御情報
  - タイマ位相  $\phi_i \in [0, 1]$
  - PRC  $\Delta(\phi)$
  - オフセット  $\tau$ 
    - メッセージの伝搬間隔
  - セッション識別子  $s_i$ 
    - セッション開始時にコア端末によって更新
  - レベル値  $l_i$ 
    - コア端末からの最小ホップ数
  - 伝搬方向  $\delta_i$  (-1: 情報収集, 1: 情報拡散)

2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 11

## センサ端末の動作

- タイマ位相が 1 になるとメッセージをブロードキャスト
- メッセージに含まれるもの
  - レベル値  $l_i$ 、セッション識別子  $s_i$ 、伝播方向  $\delta_i$ 、センサ情報
  - コア端末はレベル値  $l_i$  として 0 を、セッション識別子  $s_i$  としてセッション開始以前のものに 1 を加えたものを用いる

	コア端末	センサ端末 $h$	センサ端末 $i$	センサ端末 $j$
Phase $\phi_i$	0.2	Phase $\phi_h$ 0.3	Phase $\phi_i$ 1.0	Phase $\phi_j$ 0.9
Level $l_i$	0	Level $l_h$ 1	Level $l_i$ 2	Level $l_j$ 5
Session id $s_i$	3	Session id $s_h$ 3	Session id $s_i$ 3	Session id $s_j$ 2
Direction $\delta_i$	1	Direction $\delta_h$ 1	Direction $\delta_i$ 1	Direction $\delta_j$ -1

2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 12

### メッセージ受信時の処理 (1)

- セッション識別子  $s_j < s_i$ 
  - 新しい通信が開始されたものと判断
  - レベル値  $l_i$ 、セッション識別子  $s_i$ 、伝播方向  $\delta_i$  を更新
  - 刺激を受け、位相  $\phi_i$  を調整

Phase $\phi_j$	0.2	Phase $\phi_h$	0.3	Phase $\phi_i$	0	Phase $\phi_j$	0.92
Level $l_j$	0	Level $l_h$	1	Level $l_i$	2	Level $l_j$	3
Session id $s_j$	3	Session id $s_h$	3	Session id $s_i$	3	Session id $s_j$	3
Direction $\delta_j$	1	Direction $\delta_h$	1	Direction $\delta_i$	1	Direction $\delta_j$	1

2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 13

### メッセージ受信時の処理 (2)

- セッション識別子  $s_j = s_i$ 、レベル値  $l_j > l_i$ 
  - レベル値  $l_i$ 、伝播方向  $\delta_i$  を更新
  - 刺激を受け、タイマ位相  $\phi_i$  を調整
- 上流ノードからのメッセージ ( $l_i = l_j - \delta_j$ )
  - 受信した情報を処理

Phase $\phi_j$	0.2	Phase $\phi_h$	0.3	Phase $\phi_i$	0	Phase $\phi_j$	0.92
Level $l_j$	0	Level $l_h$	1	Level $l_i$	2	Level $l_j$	3
Session id $s_j$	3	Session id $s_h$	3	Session id $s_i$	3	Session id $s_j$	3
Direction $\delta_j$	1	Direction $\delta_h$	1	Direction $\delta_i$	1	Direction $\delta_j$	1

2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 14

### 進行波の発生

- メッセージのやり取りを繰り返すことで進行波が発生
  - 情報収集状
    - 時間間隔  $\tau$  毎にコア端末へ向かってメッセージが伝搬
  - 情報拡散状
    - 時間間隔  $\tau$  毎にコア端末から順にメッセージが伝搬

2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 15

### スリープ制御

- 進行波生成後、タイマ位相が  $\tau$  から  $1-\tau$  の間はスリープ可能
- 消費電力を節約可能

2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 16

### シミュレーション評価

- 設定
  - 100, 900, 2500 個のセンサ端末を  $10 \times 10$ ,  $30 \times 30$ ,  $50 \times 50$  の領域にそれぞれランダムに配置
  - 無線の送信範囲 2、オフセット  $\tau = 0.1$
  - コア端末が全センサ端末から情報を収集する
  - 電力消費モデルは MOTE MICA2 にもとづく
- 評価指標
  - 応答時間とメッセージ量
  - 生存ノード数(寿命)
- 比較評価
  - Two-phase Pull Diffusion (情報収集)
  - Push Diffusion (情報拡散)

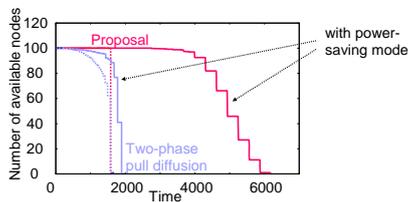
2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 17

### 応答時間とメッセージ量

- 応答時間: 全センサ端末からデータが到着するまでの時間
- 提案機構は遅延が大きい、メッセージ量は少ない

2008/5/15 第23回ITRC研究会@名古屋大学 18

## 生存ノード数の遷移(寿命)



- 提案手法は電力消費が少なくてすむ
- センサネットワークの長寿命化に貢献

2008/5/15

第23回ITRC研究会@名古屋大学

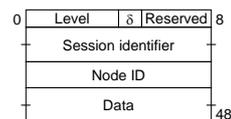
19

## 実機への実装

- MOTE MICAzを利用
  - 全方位アンテナ
  - IEEE 802.15.4
- tinyOS + NesCによる開発
- パケットフォーマット (48 bits long)



実装システムの外観



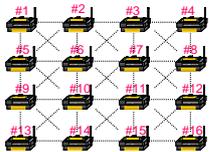
2008/5/15

第23回ITRC研究会@名古屋大学

20

## 実験による動作検証

- 実験シナリオ(周期3秒)
  - コア端末なし
  - #6を情報拡散状の通信を行うコア端末に設定
  - #11を情報収集状の通信を行うコア端末に設定



2008/5/15

第23回ITRC研究会@名古屋大学

21

## まとめと今後の課題

- 進行波状態を利用したセンサネットワークのための通信機構を検討、評価
  - アプリケーションの要求に応じた形態の通信を自己組織的に構成することが出来る
  - シミュレーションおよび実装実験による評価
- 今後の課題
  - より大規模、障害物の多い、電波環境の悪い環境での実験および提案機構の改良
  - 進行波生成までに要する時間の高速化

2008/5/15

第23回ITRC研究会@名古屋大学

22