

## センサネットワークにおける 情報収集のためのクラスタリング手法

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 博士前期課程  
上村純平, 若宮直紀, 村田正幸  
e-mail : kamimura@ist.osaka-u.ac.jp

## 内容

- ▶ 研究の背景
  - センサネットワークとその課題
  - クラスタを利用した情報収集
- ▶ 研究の目的
- ▶ 提案手法の紹介
- ▶ シミュレーション結果
- ▶ まとめと今後の課題

2004/9/23

ソサイエティ大会

2

## センサネットワーク

- ▶ 数十から数千の無線センサを配置し、ネットワークを形成して情報を収集するシステム
  - 過酷な環境の観測（火山、海底）、動物の生態調査など
- ▶ センサの観測した情報は基地局へ収集
- ▶ センサは電池で駆動
  - 電力容量は限られる
  - 充電は困難
- ▶ 長期間の観測のために消費電力を抑える必要性
  - クラスタを利用した情報収集が有効



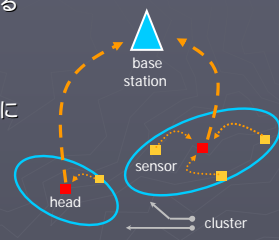
2004/9/23

ソサイエティ大会

3

## クラスタを利用した情報収集

- ▶ クラスタヘッドと呼ばれる代表がクラスタに属するセンサの情報を集約
- ▶ クラスタヘッドが基地局に情報を送信
- ▶ クラスタヘッドの負担が大きいため交代制にする



2004/9/23

ソサイエティ大会

4

## クラスタを利用した情報収集手法

LEACH [1] のアルゴリズム (1 ラウンドの流れ)

1. ある確率関数に従いセンサがクラスタヘッドになることを領域全体にブロードキャストする
2. ブロードキャストを受信したセンサは、自分に最も近いクラスタヘッドに参加登録する
3. センサはクラスタヘッドに情報を送信する
4. クラスタヘッドは、集約（圧縮）した情報を基地局に送信する



[1] W.R.Heinzelman, A.Chandrasekaran, and H.Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," in #/ICSS, pp.3005-3014, 2000.

2004/9/23

ソサイエティ大会

5

## 研究の目的

LEACH のクラスタリング

- ▶ 全てのセンサは同質であると仮定している
  - センサの種類別、基地局からの距離、導入時期による残余電力の差異を考慮に入れていない
- ▶ 電力効率がよくない
  - ブロードキャストを領域全体に行わなければならない

残余電力の異なるセンサからなるセンサネットワークにおいて、個々のセンサの局所的な情報交換により適切なクラスタを形成するメカニズムの提案

2004/9/23

ソサイエティ大会

6

## ANTCLUST [2] (1/2)

- ▶ アリの習性にヒントを得たクラスタリング手法
- ▶ 蟻の敵/味方識別メカニズム (colonial closure)
  - 蟻は、固体・種・環境などにより異なる化学物質を表皮に塗布している
  - 遭遇時に化学物質を互いに交換し、比較して同じ巣の蟻か否かを判断
  - 化学物質は遭遇時に更新され、同じ巣の固体では似通っている



[2] N.Labroche, N.Monmarché, and G.Venturini, "A new clustering algorithm based on the chemical recognition of ants," in *Proceedings of the 15th European Conference on Artificial Intelligence*, pp.345-349, July 2002.

2004/9/23

ソサイエティ大会

7

## ANTCLUST [2] (2/2)

- ▶ ANTCLUST
  - 蟻 = オブジェクト, 化学物質 = オブジェクトの中身, 巣 = クラスタ
  - 2つのオブジェクトを遭遇させ、類似度をテンプレート(閾値)と比較
  - 類似度が高い
    - ▶ クラスタが違う 同一クラスタに移動
  - 類似度が低い
    - ▶ クラスタが同じ クラスタ分割
  - クラスタが安定するまでランダムに遭遇を繰り返す

2004/9/23

ソサイエティ大会

8

## 提案手法

- ▶ ANTCLUST をセンサネットワークに適用
  - 蟻 = センサ
  - 遭遇 = 情報のブロードキャスト
  - 類似度 = 距離の近さ
  - 化学物質 = クラスタヘッドの識別子, 残余電力, 位置情報
- ▶ ANTCLUST と異なる点
  - クラスタヘッドを定める機構を取り入れた点
  - 遭遇 = 情報のブロードキャスト
    - ▶ 限られた範囲のセンサ相手に一対多で起こる
    - ▶ 動作を起こすのはブロードキャストを受信したセンサのみ
    - ▶ 電力の観点から回数に限られる

2004/9/23

ソサイエティ大会

9

## クラスタヘッドの決め方

- ▶ 残余電力の多いセンサがクラスタヘッドになるのがよい
  - 残余電力の均一化を図ることで、より多くのセンサがより長い期間観測を行える
- ▶ (クラスタヘッドの立候補) (クラスタの形成)
  - 立候補したセンサはそのラウンドでは必ずクラスタヘッドになる
  - 立候補を受信したセンサは、そのラウンドは立候補しない



残余電力の多いセンサが積極的にクラスタヘッドに立候補するのが望ましい

2004/9/23

ソサイエティ大会

10

## 提案手法の概要 (1ラウンドの流れ)

1. クラスタヘッド立候補フェーズ
  - より残余電力のあるセンサが半径  $R$  の範囲にブロードキャストし、クラスタヘッドに立候補
  - 暫定的にクラスタができる
2. クラスタ形成フェーズ
  - 残るセンサの  $P_{ex}$ % が半径  $r$  の範囲にブロードキャストし、遭遇を起こす
  - 所属クラスタの調整を行う
  - センサがクラスタヘッドに参加登録し、クラスタが完成
3. センサはクラスタヘッドに情報を送信する
4. クラスタヘッドは、集約(圧縮)した情報を基地局に送信する



2004/9/23

ソサイエティ大会

11

## センサが交換する情報

- ▶ センサ  $i$  の管理する情報
  - 自身の情報
    - ▶  $i$  : センサの識別子 (固定)
    - ▶  $e_i$  : 自分の残余電力
    - ▶  $P_i$  : クラスタヘッド立候補の確率
    - ▶  $Template_i$  : 類似度判定の閾値
  - クラスタの情報
    - ▶  $head_i$  : クラスタヘッドの識別子
    - ▶  $E_i$  : クラスタヘッドの残余電力
    - ▶  $C_i$  : クラスタヘッドの位置情報
    - ▶  $M_i$  : クラスタのメンバー数の見積値
- ▶  $Template_i, P_i$  以外をブロードキャストすることにより情報を交換

2004/9/23

ソサイエティ大会

12

## ブロードキャスト受信時の動作

センサ  $i$  が  $j$  の (立候補, 情報交換)のブロードキャストを受信した場合

▶ 立候補確率  $P_i$  を調整する

$$P_i = \begin{cases} \min(1, P_i + p), & \text{if } e_i > e_j \\ P_i, & \text{if } e_i = e_j \\ \max(0, P_i - p), & \text{if } e_i < e_j \end{cases}$$

▶ 閾値  $Template_i$  を更新する

▪  $d(i, \cdot)$  を  $i$  がブロードキャスト受信により得たクラスタヘッドとの距離とする

$$Template_i = \frac{d(i, \cdot) + \text{Max}(d(i, \cdot))}{2}$$

2004/9/23

ソサイエティ大会

13

## 提案手法の概要 (1ラウンドの流れ)

1. クラスタヘッド立候補フェーズ

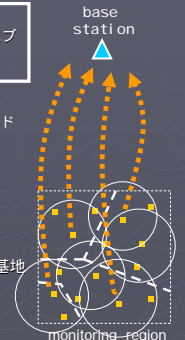
- より残余電力のあるセンサが半径  $R$  の範囲にブロードキャストし, クラスタヘッドに立候補
- 暫定的にクラスタができる

2. クラスタ形成フェーズ

- 残るセンサの  $P_{ex}\%$  が半径  $r$  の範囲にブロードキャストし, 遭遇を起こす
- 所属クラスタの調整を行う
- センサがクラスタヘッドに参加登録し, クラスタが完成

3. センサはクラスタヘッドに情報を送信する

4. クラスタヘッドは, 集約 (圧縮) した情報を基地局に送信する



2004/9/23

ソサイエティ大会

14

## クラスタヘッド立候補フェーズ (1/2)

▶ ラウンド開始時に全てのセンサは, 自らをクラスタヘッドとする

$$head_i, E_i, e_i, C_i, c_i, M_i, I$$

▶ 立候補フェーズは  $N$  個のスロットに分かれている

- センサ  $i$  はスロット  $N \times (1 - P_i)$  に立候補を予定する
- ▶  $P_i$ : クラスタヘッドへの立候補確率

例:  $N=100, P_i=0.7$  の場合, スロット 30 に立候補予定



▶ 立候補したセンサは  $P_i$  を下げる

2004/9/23

ソサイエティ大会

15

## クラスタヘッド立候補フェーズ (2/2)

▶ 立候補を受信したセンサは, 自分とクラスタヘッドとの距離  $d$  を  $Template$  と比較

▪  $d \leq Template$

- ▶ 立候補しておらず, 他のクラスタにも所属していない
- 情報を受信したクラスタに所属し, 自身の立候補は止める
- ▶ 立候補した, あるいは既にクラスタに所属している
- クラスタ形成フェーズでの動作を行う

▪  $d > Template$

▶ 何も行わない

2004/9/23

ソサイエティ大会

16

## 提案手法の概要 (1ラウンドの流れ)

1. クラスタヘッド立候補フェーズ

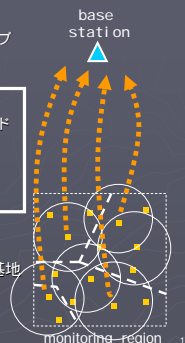
- より残余電力のあるセンサが半径  $R$  の範囲にブロードキャストし, クラスタヘッドに立候補
- 暫定的にクラスタができる

2. クラスタ形成フェーズ

- 残るセンサの  $P_{ex}\%$  が半径  $r$  の範囲にブロードキャストし, 遭遇を起こす
- 所属クラスタの調整を行う
- センサがクラスタヘッドに参加登録し, クラスタが完成

3. センサはクラスタヘッドに情報を送信する

4. クラスタヘッドは, 集約 (圧縮) した情報を基地局に送信する



2004/9/23

ソサイエティ大会

17

## クラスタ形成フェーズ

▶ クラスタヘッドに立候補しなかったセンサの  $P_{ex}\%$  が所属しているクラスタの情報をブロードキャスト

▶ ブロードキャストを受信したセンサは, 受信により得たクラスタヘッドと自分との距離  $d$  を  $Template$  と比較

▪  $d \leq Template$  ならば, より望ましいクラスタに属する

- ▶ 自分に近いクラスタヘッド ( $d$  が小さい)
- ▶ クラスタヘッドの残余電力が多い ( $E$  が大きい)
- ▶ クラスタのメンバー数が少ない ( $M$  が小さい)

現在のクラスタと新しく情報を得たクラスタで  $\frac{E}{M \cdot d^2}$  を比べ, 値の大きなクラスタに属する

2004/9/23

ソサイエティ大会

18

## シミュレーション設定

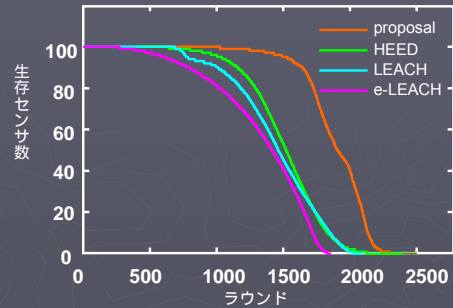
- ▶ 評価項目
  - ラウンド開始時の生存センサ数
  - 基地局で受信したセンサ情報の累計
- ▶ センサネットワークの設定
  - 100 x 100 の領域に 100 台のセンサ端末をランダムに配置
  - 基地局 (50, 175)
  - センサの初期電力 0.5 J
- ▶ 手法間の比較
  - LEACH
  - e-LEACH : LEACH でクラスタヘッド選定に残余電力を考慮
  - HEED : センサネットワーク向けの分散型クラスタリング手法
- ▶ 提案手法のパラメータ設定
  - 立候補の半径  $R = 40$ , 情報交換の半径  $r = 20$ , 情報交換の割合  $P_{ex} = 10\%$

2004/9/23

ソサイエティ大会

19

## ラウンド開始時の生存センサ数

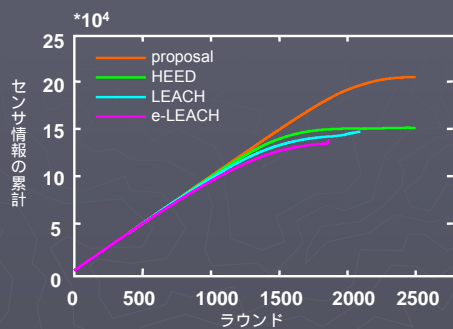


2004/9/23

ソサイエティ大会

20

## 基地局で受信したセンサ情報の累計



2004/9/23

ソサイエティ大会

21

## まとめと今後の課題

- ▶ まとめ
  - ANTCLUST にヒントを得たクラスタリング手法の提案
  - シミュレーションにより, 提案手法がより多くのセンサをより長く生存させることを示した
- ▶ 今後の課題
  - 観測領域の大きさ, センサ密度などに適したパラメータをセンサが自律的に判断する
  - クラスタヘッド間のマルチホップ通信

2004/9/23

ソサイエティ大会

22

ご清聴ありがとうございました。

2004/9/23

ソサイエティ大会

23