

## センサーネットワークにおける ポテンシャル場を用いた モバイルシンク移動制御手法の提案と実装

藤田 勇希<sup>†</sup> 豊永 慎也<sup>†</sup> 小南 大智<sup>‡</sup> 村田 正幸<sup>†</sup>

<sup>†</sup>大阪大学情報科学研究科

<sup>‡</sup>大阪大学経済学研究科

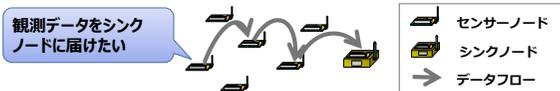
2014/1/23  
情報ネットワーク研究会

1

## 研究背景

### 無線センサーネットワーク

- 多数のセンサーノードと少数のシンクノードで構成
- 観測領域における環境情報の収集
  - センサーノードが観測した環境情報をマルチホップでシンクノードに転送



### 各ノードはバッテリーによって駆動

- ネットワークの長期運用には各ノードの省電力化が重要
  - 省電力化のための低電力通信では環境情報がシンクノードに到達することを保証するのは困難

Controlled Mobility<sup>[1]</sup>

2014/1/23 [1] A. Somasundara, A. Kansal, D. Jea, D. Estrin, and M. Srivastava, "Controllably mobile infrastructure for low energy embedded networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 5, pp. 958-973, Aug. 2006.

2

## CONTROLLED MOBILITY<sup>[1]</sup>

### ノードの移動をネットワーク内外から動的に制御

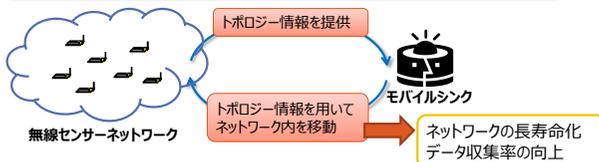
#### モバイルノード

- 移動機能を持ったセンサーノードがネットワークの接続性を保持するように移動

#### モバイルシンク

- 移動機能を持ったシンクノードがセンサーノードの送信電力を抑えるように移動
- モバイルシンクは豊富なバッテリーを保持していると仮定

モバイルシンクはネットワークを構成するノードから受け取ったトポロジー情報をもとに次の移動方向や速度を決定する



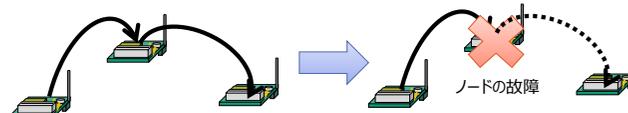
2014/1/23 [1] A. Somasundara, A. Kansal, D. Jea, D. Estrin, and M. Srivastava, "Controllably mobile infrastructure for low energy embedded networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 5, pp. 958-973, Aug. 2006.

3

## 既存研究における前提

### ネットワークトポロジーが一定

現実のトポロジーはノードの電力枯渇、故障、離脱、追加などによって時々刻々と変化



### 全ノードは GPS などの測位機器を搭載

全ノードに GPS を搭載した場合、ネットワークの規模拡大にともなってコストが増大

2014/1/23

4

## 本研究の目的と方法

ネットワーク状況に対して適応的な  
モバイルシンクの移動制御手法

ポテンシャル場を用いたモバイルシンクの移動制御手法を提案

- ポテンシャル場を用いた経路制御手法<sup>[2]</sup>を応用  
トポロジーの変化に対して適応的に経路を制御できる
- 受信信号強度を用いたモバイルシンクの移動方向の決定  
コスト増大の要因となる GPS などの測位機器を用いる代わりに  
より状況に適応できる受信信号強度を用いる

シミュレーションによって有効性を検証  
実機を用いた実装

2014/1/23 [2] D. Kominami, M. Sugano, M. Murata, and T. Hatauchi, "Controlled and self-organized routing for large-scale wireless sensor networks," *ACM Transactions on Sensor Networks*, 2013 (in press).

5

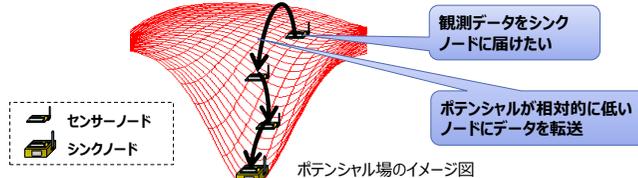
## ポテンシャル場を用いた経路制御<sup>[2]</sup>

### ポテンシャル場

- ポテンシャル場を構成する各ノードはポテンシャルと呼ばれるスカラー値を保持
- シンクノードのポテンシャル最小
- 各ノードのポテンシャルの分布を「場」として表現

### 経路制御

- 各ノードはポテンシャルが相対的に低いノードにデータを転送
- データはポテンシャル最小のノード (=シンクノード) に到達

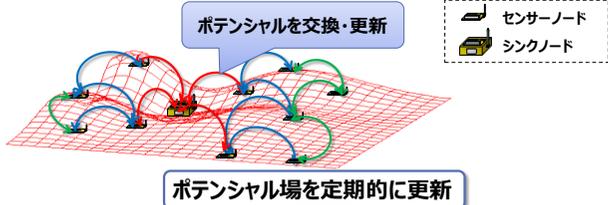


2014/1/23 [2] D. Kominami, M. Sugano, M. Murata, and T. Hatauchi, "Controlled and self-organized routing for large-scale wireless sensor networks," *ACM Transactions on Sensor Networks*, 2013 (in press).

6

### ポテンシャル場の構築

- 各ノードが保持するポテンシャルを更新
  - 各ノードは自身と周囲のノードのポテンシャルに基づいて自身のポテンシャルを定期的に更新
  - シンクノードのポテンシャルを最小値に設定することで、凹型のポテンシャル場を自律的に形成



ノード故障などの環境変化に適応的にデータ収集が可能

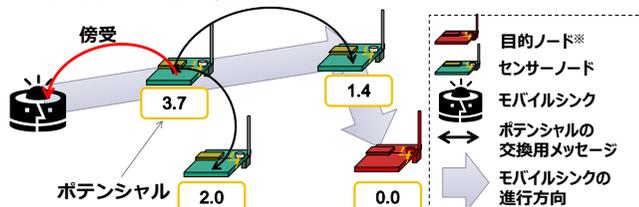
2014/1/23

7

### ポテンシャル場を用いた移動制御

環境情報収集を行うためにモバイルシンクを目的ノード※に誘導

- 全ノードで目的ノードをポテンシャル最小とするポテンシャル場を構築
- モバイルシンクはセンサーノード同士が交換するポテンシャルを傍受する
- モバイルシンクはポテンシャルが相対的に低い方向に移動を行う
- 目的ノードの通信可能範囲にモバイルシンクが到達すると収集データを受け取る
- ポテンシャル場から離脱する



※周囲のセンサーノードの観測データを一時的に保持するノード

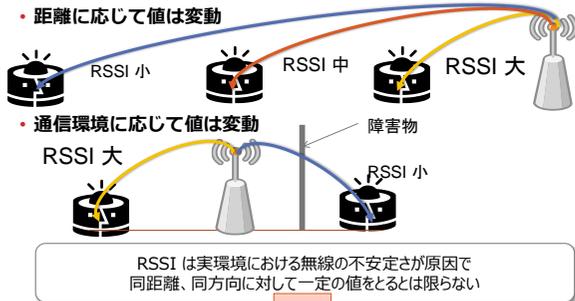
2014/1/23

8

### モバイルシンクの進行方向決定指標

#### 受信信号強度 (RSSI)

- 無線機器が受信する信号の強度を表す指標の一つ
- 距離に応じて値は変動

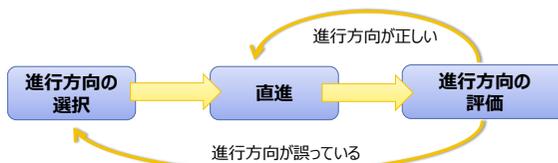


RSSI の平均値を利用することで値の変動による影響を緩和

2014/1/23

9

### 受信信号強度を用いた進行方向の決定



#### 1. 進行方向の選択

- 傍受したポテンシャルを保持しているセンサーノードが配置されている方向の推定
- モバイルシンクの進行方向を選択

#### 2. 進行方向の評価

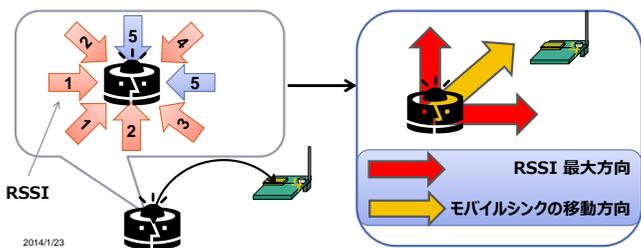
- モバイルシンクの現在の進行方向の正誤を評価
  - RSSI の実環境における変動を考慮

2014/1/23

10

### 進行方向の選択

- モバイルシンクは指向性アンテナを用いて N 方向の RSSI を測定
- 全方向中でポテンシャルが最小のノードの RSSI が最大となる方向を記憶
2. の方向ベクトルを合成
- 上記の方法で求めた方向に直進



2014/1/23

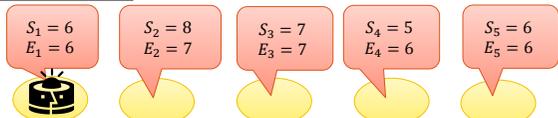
11

### 進行方向の評価

- モバイルシンクは直進中に一定時間ごとに RSSI をサンプリングする (n 回目のサンプリングにおける RSSI を  $S_n$  とする)
- サンプルの指数平均  $E_n$  を算出する
- M 回のサンプリング毎に  $E_n$  と  $E_{n-M}$  を比較する
  - $E_n \geq E_{n-M}$  (増加傾向) の場合直進を続ける
  - $E_n < E_{n-M}$  (減少傾向) の場合進行方向の推定を行う

$$E_n = \frac{E_{n-1} \cdot (M-1) + S_n}{M} \quad (n \geq 2), E_1 = S_1 \text{ とする}$$

例 M = 2 の場合



2014/1/23

$E_3 > E_1$  (増加傾向) であるため直進を続ける

$E_5 < E_3$  (減少傾向) であるため再度進行方向の推定を行う

12

## シミュレーションによる検証

- ・シミュレーション環境
  - ・ 120 × 80 m の観測領域に 7 個のセンサーノードを毎回ランダムに配置 (内 1 個は目的ノード)
  - ・ 観測領域に 1 m/s で移動を行うモバイルシンクを 1 台配置
  - ・ 通信可能距離は直線で 50 m とし、距離に応じて減衰
- ・評価指標
  - ・ モバイルシンクの目的ノードまでの到達遅延を測定
    - ・ 提案手法 (ポテンシャル場を用いた移動制御) を用いた場合
    - ・ ランダムウェイポイントモデルを用いた場合

到達遅延を比較することで、ポテンシャル場を用いた移動制御によってモバイルシンクの目的ノードまでの誘導を有効に行っていることを示す

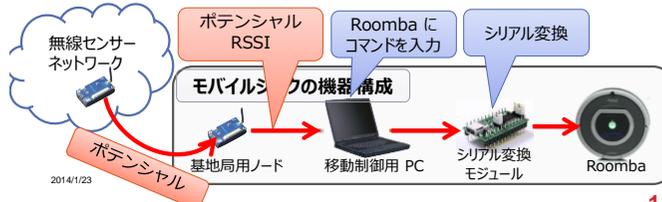
### ・シミュレーション結果

	到達時間
提案手法	138.78 ± 67.17 s
ランダムウェイポイントモデル	308.30 ± 102.58 s

13

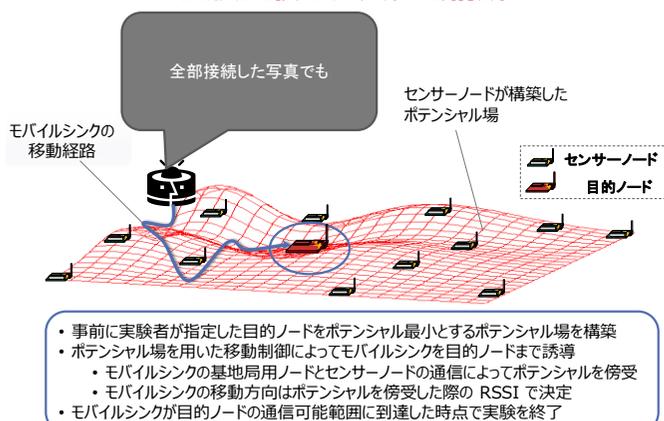
## 実機実験：機器構成

- ・センサーノード
  - ・ Crossbow Technology 社 IRIS mote
- ・モバイルシンク (以下の機器をそれぞれ接続)
  - ・ iRobot 社 Roomba 790
    - ・ シリアルコマンドを入力することで外部からの操作が可能
  - ・ FT232RL シリアル変換モジュール … シリアル変換モジュール
  - ・ Let's Note CF-S9 … 移動制御用 PC
  - ・ Crossbow Technology 社 IRIS mote … 基地局用ノード



14

## 実機実験：システム構成



- ・ 事前の実験者が指定した目的ノードをポテンシャル最小とするポテンシャル場を構築
- ・ ポテンシャル場を用いた移動制御によってモバイルシンクを目的ノードまで誘導
  - ・ モバイルシンクの基地局用ノードとセンサーノードの通信によってポテンシャルを傍受
  - ・ モバイルシンクの移動方向はポテンシャルを傍受した際の RSSI で決定
- ・ モバイルシンクが目的ノードの通信可能範囲に到達した時点で実験を終了

15

## デモ映像

2014/1/23

16

## 実機実験による評価

- ・実験環境
  - ・ 12 × 8 m の室内に IRIS を 6 台配置 (内 1 台は目的ノード)
  - ・ Roomba の初期位置は一定
  - ・ IRIS はチャネル 26 (2480MHz) を使用
- ・評価指標
  - ・ Roomba の目的ノードまでの到達率\*と到達時間を測定
    - ・ 提案手法 (ポテンシャル場を用いた移動制御) を用いた場合
    - ・ Roomba 本来のアルゴリズムで移動を行った場合

到達率を比較することで、シミュレーションで有効性を検証した提案手法が RSSI の変動が予想される実環境でも有効に動作することを示す

### ・実験結果 (試行は全部で 7 回とする)

	到達率	到達成功時の到達時間
提案手法	100 %	295.92 ± 47.53 s
Roomba 本来のアルゴリズム	42.86 %	269.75 ± 125.08 s

※ 10 分以内に到達した場合のみ到達成功とする

17

## まとめと今後の課題

- ・ ネットワーク状況に適応的なモバイルシンクの移動制御手法の提案と実装を行った
- ・ シミュレーションによって提案手法の有用性を実証し、実機実験によって実環境でも有効に動作することを示した

### 今後の課題

- ・ 実環境での RSSI の変動に強い移動制御手法の提案
- ・ 障害物を想定した移動制御手法の提案
- ・ 複数のモバイルシンクが存在する場合の移動制御手法の検討

2014/1/23

18