

## 受信端末駆動無線マルチホップネットワークにおける無線チャネルの品質変動に対するロバスト性

小南大智† 菅野正嗣† 村田正幸† 島内 孝明††

†大阪大学 †大阪府立大学 ††富士電機システムズ

2010/07/16

アドホックネットワーク研究会

### 発表概要

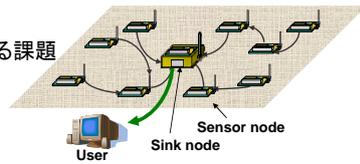
- 研究背景
  - Intermittent Receiver-driven Data Transmission (IRDT) の概要
- 研究目的と研究方法
  - 無線チャネルの品質変動に対するロバスト性向上
  - シミュレーションによる性能評価
- まとめと今後の課題

2

### 研究背景

#### センサネットワークにおける課題

- 低消費電力化
  - バッテリによる動作
  - 長寿命化に必要
- 信頼性の向上
  - 不安定な無線品質という条件下での通信の保証



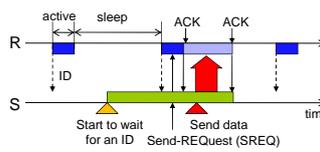
#### Intermittent Receiver-driven Data Transmission (IRDT) [1]

- 受信ノードによる“スリープ” / “ID 送信” の定期的な繰り返し
  - スリープによる省電力化
  - ID 送信による受信準備状態の通知
- ガス会社のメータリングシステムに採用予定
- IEEE 802.15.4e の標準化提案の一部として提案中

[1] 島内孝明, 福山良和, 石井美里, 西藤達之: メッシュネットワークのためのポーリングによる低消費電力型アクセス方式の提案\*, 電気学会論文誌, C, 電子・情報・システム部門部, 128, 12, pp.1761-1766 (2008).

3

### IRDT 方式: MAC 層



- データを所持しないノード (R)
  - 定期的に自身の ID を送信
  - ID 送信後のスリープによる消費電力抑制
- データを所持するノード (S)
  - ノードからの ID を待機
  - ID 受信後にルーティング層に従い SREQ を返信

#### 送信ノードは複数のノードを通信相手として利用可能

- データを所持するノードの ID 待機時間の削減

送受信ノード双方における低消費電力化

- メッシュネットワークの構築

高信頼性ネットワーク

4

### IRDT 方式: ルーティング層

#### Distance Vector 型ルーティングプロトコル

- 任意のノードへの最小ホップ数を登録した経路テーブルを所持
  - ID 受信の際に隣接ノードとして経路テーブルに登録
  - 隣接ノードとのテーブル交換が必要
- 隣接関係および経路テーブルのハードステート型管理
  - 他ノードからの情報更新がない限り同じ情報を所持
    - ただし 数時間ごとリフレッシュを実行
  - 環境変動時の即時対応が困難

#### SREQ 送信決定アルゴリズム

1. 最小ホップ経路となるノードの ID 受信時に TRUE
2. 最小ホップ経路となるノード全てから ACK が確認できない場合のみ同一ホップ数のノードの ID 受信時に TRUE
3. それ以外のノードからの ID 受信時に FALSE

5

### 研究目的と研究方法

#### 研究目的

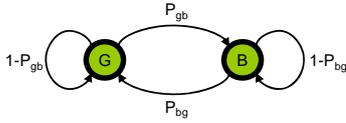
- 無線チャネルの品質変動に対する IRDT のロバスト性向上
  - 様々な変動周期で無線チャネル品質が変化するときの収集率の変動を抑制

#### 研究方法

- 無線チャネル品質の変動に対するロバスト性向上方法の提案
  - a. MAC 層におけるデータ再送
  - b. 隣接関係・経路テーブルのソフトステート型管理
  - c. 迂回路の利用を可能とする SREQ 送信決定アルゴリズム
- 計算機シミュレーションによる評価
  - 無線チャネル品質の変動に対するロバスト性向上を評価

6

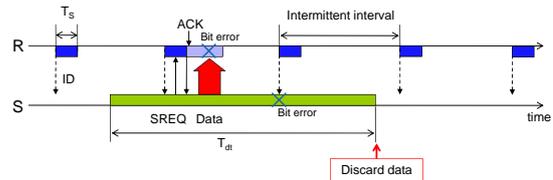
### 無線チャンネル品質変動モデル



- **ギルバートモデルによる各リンク間のバーストエラーのモデル化**
  - 無線リンクは2つの状態 G および B をチャンネル変動周期  $T_c$  ごとに遷移
    - G, B におけるビットエラー率はそれぞれ  $P_G$  および  $P_B$
  - 短いチャンネル変動周期 ( $T_c < 1.0$  s):
    - $T_c \approx$  2 ノード間でのデータ通信時間および間欠周期
    - MAC 層の改良によるロバスト性向上が必要
  - 長いチャンネル変動周期 ( $T_c > 10$  s):
    - $T_c \approx$  ソース・シンク間のデータ到達時間および経路情報更新周期
    - ルーティング層の改良によるロバスト性向上が必要

### MAC 層におけるロバスト性向上

- Data パケット最大再送回数の増加によるロバスト性向上
  - Data パケット発生から  $T_{dt}$  経過にデータパケット破棄
  - 長い  $T_{dt}$ : Data パケット最大再送回数を増加
    - 受信ノードの数  $\times$  ceiling ( $T_{dt} \div$  Intermittent interval) 回
    - 再送回数の増加による収集率の向上
  - 短い  $T_{dt}$ : 送信ノードの ID 待機時間を削減
    - 送信ノードの消費電力の抑制

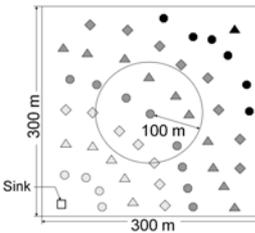


### ルーティング層におけるロバスト性向上

- **隣接関係・経路テーブルのソフトステート管理**
  - 定期的に送信する ID をソフトステート管理に利用
  - 各ノードが周期  $T_I$  ごとに ID をサンプリング
    - サンプリング中の ID 受信:
      - ID を送信してきたノードを隣接ノードとして経路テーブルに登録
      - 経路テーブルの交換が必要であれば実行
    - サンプリング終了時:
      - ID を確認できなかったノードを経路テーブルから削除
      - そのノードから以前受け取った経路テーブルも削除
- **迂回路の利用を可能とする SREQ 送信決定アルゴリズム**
  1. 最小ホップ経路となるノードの ID 受信時に TRUE
  2. 同一ホップ数のノードの ID 受信時に 50% の確率で TRUE
  3. それ以外のノードからの ID 受信時に FALSE

### シミュレーション環境

- 観測領域 300  $\times$  300 m<sup>2</sup>
- ノード台数 50 台 (ランダム配置)
- 通信距離 100 m
- シミュレーション時間 6 h
- 無線チャンネル品質の変動
  - $T_c$  を  $10^1$  ms ~  $10^6$  ms に設定
  - ビットエラー率
    - 状態 G:  $P_G = 1.0$
    - 状態 B:  $P_B = 0$
- 評価指標
  - データパケット収集率
  - 平均消費電力



### シミュレーションにおけるパラメータ

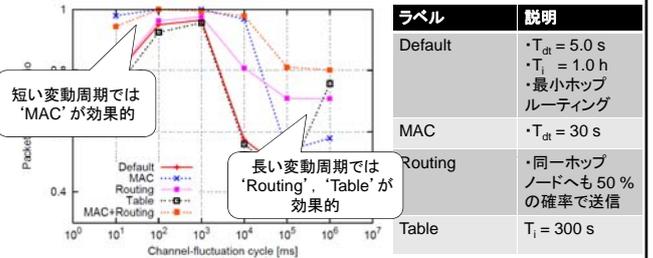
#### 基本パラメータ

パラメータ名	値
間欠動作周期	1.0 s
パケット発生率	0.002 packet/s/node
通信速度	100 [kbps]
受信時電流	25 [mA]
送信時電流	20 [mA]
スリープ時電流	0 [mA]
ID, SREQ パケットサイズ	40 [byte]
Data パケットサイズ	128 [byte]
ACK パケットサイズ	26 [byte]

#### ロバスト性の向上に関するパラメータ

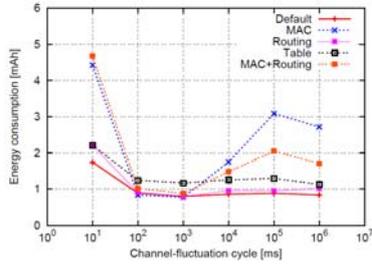
パラメータ名	初期値	提案値
$T_{dt}$	5.0 s	30 s
$T_I$	1.0 h	300 s

### シミュレーション結果 - パケット収集率 -



- MAC 層およびルーティング層での適切なパラメータ設定によってロバスト性が向上
  - 'MAC' と 'Routing' を組み合わせることで収集率の最小値を 34 % 改善

## シミュレーション結果 - 消費電力 -



- 無線チャネル品質の変動に対する変化は 'Default' が最小
  - 'MAC' によって消費電力は大きく変動
    - データ送信を成功させるために送信ノードの起動時間を延ばしている
  - パケット収集率と消費電力との間にトレードオフの関係が存在

13

## まとめと今後の課題

- IRDT における MAC 層およびルーティング層の適切な設定による無線チャネル品質の変動に対するロバスト性向上
  - 無線チャネル変動の周期が短い場合には MAC 層での設定が、長い場合ではルーティング層での設定が有効であることを示した
  - 適切な設定を用いることで、初期設定の場合と比較してパケット収集率の最小値を 34 % 向上できることを明らかにした
  - パケット収集率と消費電力のトレードオフを確認した
- 今後の課題
  - トランスポートレベルでの再送による収集率の向上
  - 消費電力の増加を抑えた収集率向上方法の提案

14