

スマートメータリングシステムにおける長寿命化のための負荷分散手法

Damdinsuren Chuluunsuren
 村田研究室
 情報ネットワーク学専攻
 大阪大学大学院情報科学研究科

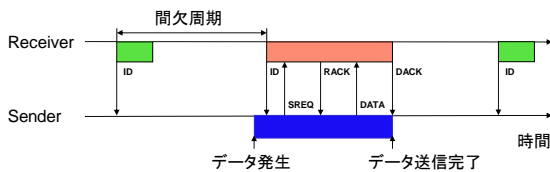
研究背景

- スマートメータリングシステムとは
 - 各メータが通信機能を持ち、無線ネットワークを形成
 - 自動検針の情報収集が可能
- 受信端末駆動型間欠通信方式 (IRDT) [1]
 - ガス会社のメータリングシステム
 - 間欠的に電源をオフにすることで消費電力抑制
 - 富士電機(株)との共同研究
- 課題: 消費電力のさらなる低減
 - メータはバッテリーにより動作
 - 長寿命化のために必要

[1] Daichi Kominami, Masashi Sugano, Masayuki Murata, and Takaaki Hatauchi, "Energy-efficient receiver-driven wireless mesh sensor networks," Sensors, vol. 11, no. 1, pp. 111-137, 2011.

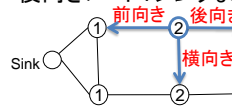
IRDT方式のMAC層

- 間欠動作: スリープ制御による消費電力の抑制
 - 受信ノードが定期的にIDを送信し、受信可能状態を周知
 - 送信ノードがIDを受け入れ、SREQを出すことで通信開始
- 間欠動作の周期: ID送信間隔
 - 間欠周期が短いほどデータを受信する確率が増加



IRDT方式のルーティング層

- 隣接ノードの分類:
 - 前向きノード: シンクまでのホップ数が小さい隣接ノード
 - 横向きノード: シンクまでのホップ数が同じ隣接ノード
 - 後向きノード: シンクまでのホップ数が大きい隣接ノード

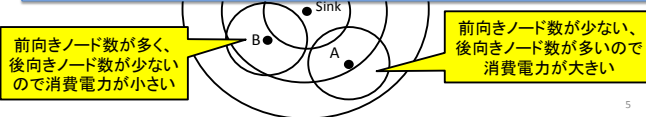


- 送信先ノードの決定方法:
 - 前向きノードからID受信した時、データ送信確率 = 1
 - 横向き・後向きノードからID受信時、データ送信確率 = 0
 - 全前向きノードとの通信失敗後に、横向き送信確率 = 0.5 に変更

IRDTの課題と研究目的

- トポロジーに起因する消費電力の偏り問題
 - ノード密度が高く、通信距離が大きい
 - 前向きと後向きノード数のばらつきが発生
 - 負荷の偏りにより、ネットワーク寿命が短縮

研究目的: 横向きノード間での負荷分散により、ネットワークの長寿命化を実現する



負荷分散のための提案手法

- 提案手法の目的: 横向きノード間で消費電力の偏りを抑制
- データ送信ノードの制御とデータ受信ノードの制御から構成

提案手法	IRDT方式
データ送信ノードの制御: 負荷が少ない横向きノードへ積極的に送信することで、負荷分散	ルーティング層
データ受信ノードの制御: 間欠周期の制御により受信パケット数を調整	MAC層

負荷に基づくノードの分類

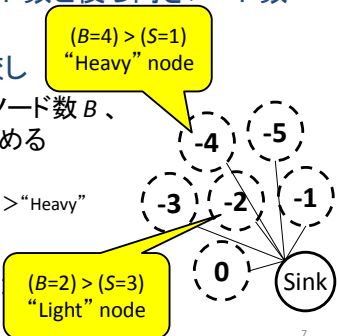
- 各ノードは前向きノード数と後ろ向きノード数の差 D を求める

- 全横向きノードと比較し

– 自身の D より大きいノード数 B 、小さいノード数 S を求める

- $B > S$ なら、
 - 負荷が大きいノード => “Heavy”

- $B \leq S$ なら、
 - 負荷が小さいノード => “Light”



ルーティング手法

- 各ノードが中継処理能力 RA の値を持つ

- Heavyノードは負荷が高いため、 $RA=0$
- Lightノードは下記の式により、 RA を計算

$$RA = \min\left(1, \frac{N_f}{N_{side-H}} \cdot \alpha\right)$$

N_f : 前向きノード数、 α : 定数、 N_{side-H} : Heavy横向きノード数

- 横向きノード間で RA を交換する

- データ送信ノードの動作

- 前向きノードからID受信した時、確率1で送信
- 横向きノードからID受信した時:

- 自身が Light ノードならば、このIDを無視
- 自身が Heavy ノードかつID送信ノードが Light ならば、確率 RA_{ID} で送信。(RA_{ID} : ID送信元の RA)

間欠周期の変更(1)

- Lightノードの場合:

– 前向きノード数が後向きノード数と Heavy 横向きノード数の合計より大きい時

- 下記の式に従い間欠周期を変更し、データ受信確率を上げる

$$T_{t+1} = \max\left(T_t \cdot \frac{N_b + N_{side-H}}{N_f}, T_0 \cdot 0.5\right)$$

- 小さい時何もしない

T_0 : 初期間欠周期、 T_t : 時刻 t における間欠周期、 N_f : 前向きノード数、 N_b : 後向きノード数、 N_{side-H} : Heavy 横向きノード数

間欠周期の変更(2)

- Heavyノードの場合:

– 後向きノード数 (N_b) が前向きノード数 (N_f) と全 Light 横向きノードの RA 合計 (N_{given}) より大きい時

- 下記の式に従い間欠周期を変更し、データ受信確率を下げる

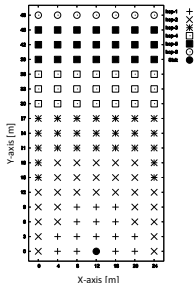
$$T_{t+1} = \min\left(T_t \cdot \frac{N_b}{N_f + N_{given}}, T_0 \cdot 2\right)$$

- 小さい時何もしない

T_0 : 初期間欠周期、 T_t : 時刻 t における間欠周期、 N_f : 前向きノード数、 N_b : 後向きノード数、 N_{given} : Light 横向きノード数の RA 合計

シミュレーション環境

シミュレーショントポロジー

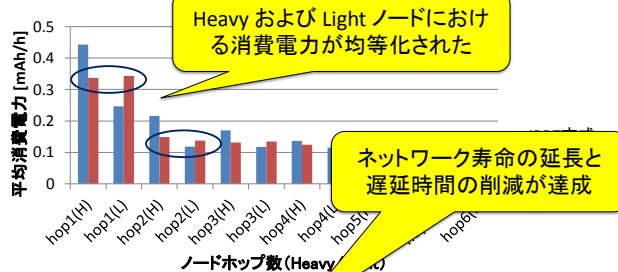


主なパラメーター設定

パラメーター	値
シンク数	1
ノード数	119
ノードあたりデータ発生率	0.001 packet/s
通信速度	100 kbps
間欠周期	1 s
データサイズ	128 byte

評価指標: ネットワーク寿命、平均遅延時間、パケット収集率 (ネットワーク寿命とは、初めてノードの電池枯渇が発生するまでの時間)

シミュレーション結果



	ネットワーク寿命	遅延時間	パケット収集率
IRDT方式	8639.24 [s]	2.19 [s]	98.36 [%]
提案手法	13240.82 [s]	1.74 [s]	95.48 [%]

まとめ・今後の課題

- スマートメータリングシステムにおける長寿命化のための負荷分散手法の提案
 - 負荷が小さいノードに積極的に送信
 - 間欠周期の制御
- シミュレーションにより評価結果：
 - ネットワーク寿命を約53%延長
 - パケット収集率の低下は3%程度
- 今後の課題：
 - 大規模なネットワークを対象にした評価
 - ノードの故障・追加に対するロバスト性の評価 ¹³