

受信端末始動型マルチホップ 無線ネットワークにおける 制御パケットの衝突を考慮した性能改善

小南大智† 菅野正嗣† 村田正幸†
島内孝明†† 町田潤一††

†大阪大学 †大阪府立大学 ††富士電機システムズ

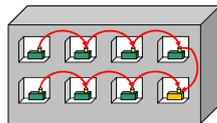
発表概要

- 研究背景
 - Intermittent Receiver-driven Data Transmission (IRDT) 方式の概要
- 研究目的
- IRDT方式における制御パケット衝突問題とその解決方法
- シミュレーションによる性能評価
- まとめと今後の課題

無線センサを用いた自動検針システム

■ ガス・電気の自動検針システム

- 検針データの取得
- シンクノードでのデータ収集
 - 検針のコスト・負担を低下



■ 特徴

- 定期的なデータの収集
 - 低いパケット発生率
- 緊急時の情報伝達
 - 高いパケット発生率

■ 有限のバッテリーによる駆動

➡ 長期運用のためには消費電力の抑制が重要

間欠動作による低消費電力化

■ 間欠動作を用いた通信

- センサノードがアクティブ/スリープ状態を定周期(間欠周期)で繰り返す
 - スリープ状態時に電力を抑制する
 - アクティブ状態時に通信を行う

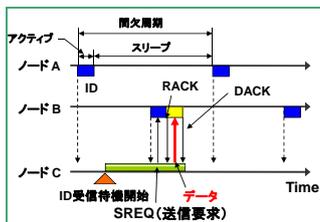
$$\text{間欠周期} = \text{アクティブ時間} + \text{スリープ時間}$$

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

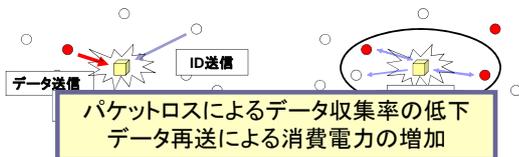
- 受信端末始動型の非同同期間欠動作を行う
 - データ受信可能なノードがアクティブ状態開始時に自身の端末IDを送信
 - データ送信側ノードが複数の通信候補を次ホップとして待ち受ける
- IEEE 802.15.4e の標準化提案の一部となっている
- 制御パケットの衝突による性能の低下が問題点 [2]

[1] 島内孝明, 福山良和, 石井美里, 西蔵達之: 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・システム部門誌, 126, 12, pp. 1761-1768 (2008).
[2] 小南大智, 菅野正嗣, 村田正幸, 島内孝明, 福山良和, 西蔵達之: 受信端末始動型間欠動作データ転送方式の性能評価, 信学技報, IN2008-155, pp. 139-144 (2009).

IRDT方式の基本動作と制御パケットの衝突



- データを受信可能なノード
 - 定期的に自身のIDを送信
 - 他のパケットとの衝突
- データを所持するノード
 - 適切な送信先からのIDを待機
 - ID受信後に SREQ の返信
 - SREQパケット同士の衝突



研究の目的

■ IRDT方式の問題点

- 制御パケット(SREQ・ID)の衝突による性能劣化

■ 制御パケットの衝突回避による性能改善方式の提案

- 間欠周期によって衝突確率を変動させることが可能
 - ➡ 制御パケット衝突率を最小化する間欠周期の解析的な導出
- データパケット受信率によって衝突確率を変動させることが可能
 - ➡ データパケット受信率低下のためのデータアグリゲーション機能の導入

制御パケット衝突問題の定式化

- IDパケットと他のパケットとの衝突確率
 - 平均λのポアソン過程でデータパケットが発生する
 - パケットを送信する際にはCCAによるチャネルチェックを行う
 - 全ノードの間欠周期をTIに設定

$$P_{ID} = \frac{T \cdot H(R)}{T}$$

T: 間欠周期
TI: SREQデータパケット受信時間
H: 平均隠れ端末個数

- 定期的なIDパケットの送信が原因
 - 間欠周期が短いほど衝突確率が大きくなる
 - データの受信率に依存しない
- SREQパケット同士の衝突確率
 - データパケットの輻輳が原因
 - 間欠周期が長いほど一定時間に送信可能なデータパケット数が減少するため輻輳が生じやすくなり衝突確率が増加する
 - データ受信率が低いほど衝突確率は小さい

$$P_{SREQ} = 1 - \frac{1 - [N_b(R)] + [N_b(R)]e^{G_b(R)T}}{e^{G_b(R)T}}$$

[N_b]: 隠れ端末を考慮した平均子ノード数
G: 平均データ受信率
G_b: G/子ノード数

2009/10/23 AN研究会 7

間欠周期 T* の設定による衝突回避

ネットワークモデル

シミュレーション結果: 信頼区間95%

シミュレーション結果: A=0.024

$$P'_{SREQ} = P_{SREQ} / G(R)T$$

- P_{ID}とP'_{SREQ}の和を最小化する間欠周期をT*とする
 - 全ノードがT*の近似値を求めることで衝突を回避する

2009/10/23 AN研究会 8

データアグリゲーションと衝突回避

- データ受信後も間欠動作を継続
 - 一定時間の経過 or 一定個数のデータ集約後に送信処理開始
 - アグリゲーション後はデータパケットサイズの増加を想定
- SREQパケット同士の衝突減少
 - データパケット受信率の低下
 - 同一ホップ数のノード同士のアグリゲーションがSREQ衝突発生を抑制
- ID・データパケット間の衝突増加
 - データサイズの増加によりデータパケット受信時間が長くなる

2009/10/23 AN研究会 9

シミュレーションモデル

- ネットワークモデル
 - 49個のセンサノード・1個のシンクノードを400mの正方領域に配布
- 仮定
 - 各ノードはポアソン過程に従いパケットを生成・マルチホップで送信
 - 端末の故障および電力枯渇は考慮しない
 - パケット受信中に別のパケットが届いた場合はいずれも破棄する
- 変化させるパラメータ
 - パケット発生率 (0.001 packets/s ~ 0.030 packets/s)
 - 間欠周期 (1.0 s, 0.1 s, Dynamic [2], T*)
- 固定パラメータ

シミュレーション時間	6 [hour]
通信可能距離	100 [m]
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パケットサイズ	40 [byte]
データパケットサイズ	128 [byte]
その他のパケットサイズ	26 [byte]

2009/10/23 AN研究会 10

間欠周期 T* 設定時の収集率および平均消費電力

- パケット収集率の向上
 - 全てのパケット発生率でほぼ 100% を達成
- 消費電力の抑制
 - パケット発生率 0.001: 1 s と比較して 20%, 0.1 s とでは 75% の削減
 - パケット発生率 0.030: 1 s と比較して 80%, 0.1 s とでは 20% の削減

2009/10/23 AN研究会 11

データアグリゲーション利用時の収集率および平均消費電力

- アグリゲーションによって収集率低下
- 2個のアグリゲーションで収集率向上
- 3個のアグリゲーションで収集率低下
- アグリゲーションによる消費電力の抑制

- パケット収集率の向上と低下
 - 間欠周期が 1 s の場合のみ 2 個までのアグリゲーションが有効
- 消費電力の抑制
 - アグリゲーションを行うほど消費電力が抑制されている
 - アグリゲーション個数の増加に従い抑制の効果は減少
 - 間欠周期が短い際には衝突による再送のため低効果

2009/10/23 AN研究会 12

まとめと今後の課題

- 制御パケットの衝突回避に基づくIRDT方式の性能改善方式を提案しその効果を明らかにした
 - 制御パケット衝突率を最小化する間欠周期 T^* の解析的導出
 - データ受信率を低下させるデータアグリゲーションの導入
- 今後の課題
 - 特定ノードへの負荷の集中の解決
 - リンクの変動・端末の故障・端末の停止を考慮したシミュレーションによる性能評価
 - 実機による実験を用いた検証

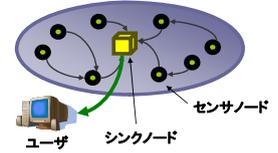
2009/10/23

AN研究会

13

センサネットワークの概要

- 多数のノードが形成するネットワーク
 - センサノードによるセンシング
 - 温度・湿度・光・圧力等
 - シンクノードがセンシングデータを収集
- 広い応用性
 - 環境モニタリング
 - 施設内セキュリティの管理
- 有限のバッテリーによる駆動
 - ➔ 長期運用のためには消費電力の抑制が重要

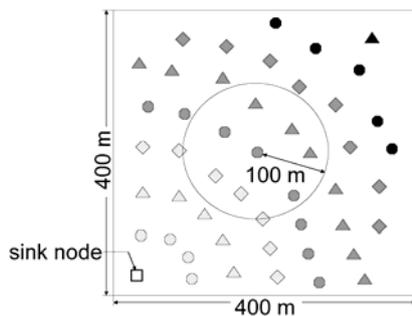


2009/10/23

AN研究会

14

使用したトポロジ



2009/10/23

AN研究会

15

$G(R)$, $H(R)$, P_{SREQ}

$$G(r) = \sum_{n \in N_b(r)} \frac{1}{|N_f(n)|} \lambda(G(n) + 1)$$

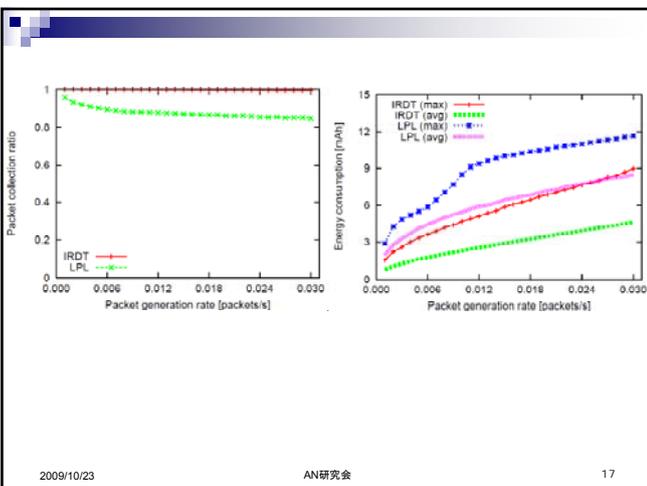
$$H(R) = \frac{1}{|N_a(R)|} \sum_{n \in N_a(R)} h(R, n)$$

$$P_{SREQ} = \sum_{k=2}^{|N_b(R)|} C_n(k) \left(1 - \frac{1-k + ke^{G_b(R)T}}{e^{G(R)T}} \right)$$

2009/10/23

AN研究会

16



2009/10/23

AN研究会

17