

受信端末駆動型 無線マルチホップネットワークにおける 制御パケットの衝突回避による性能向上

大阪大学 基礎工学部 情報科学科 村田研究室
速水 直

研究の背景

- ▶ **スマートメータリングシステム**
 - ▶ ガスや電気の計測・検針用途
 - ▶ 計測の頻度が低く、多数の端末からデータを収集
 - ▶ **データが確実に届くことが重要**
 - ▶ センサ端末による無線マルチホップネットワーク
 - ▶ 他のセンサノードを中継した通信
 - ▶ データ収集端末(シンクノード)にデータを送信
 - ▶ 電池でセンサノードが動作
 - ▶ **省電力性が重要**
- ▶ **受信端末駆動型間欠動作データ転送方式 (IRDT)^[1]**
 - ▶ 富士電機と共同で方式の立案, 評価, 標準化
 - ▶ ガスのスマートメータに採用

[1] 溝内幸明, 福山良和, 石井美里, 田嶋達之. "メッシュネットワークのためのボリングによる低消費電力型アクセス方式の提案". 電気学会論文誌の(電子・情報・システム部門部), vol. 128, pp. 1781-1784, Dec. 2008.

受信端末駆動型間欠動作データ転送方式 (IRDT)

- ▶ 間欠動作を用いた MAC 層プロトコル
 - ▶ スリープ状態から間欠的にアクティブ状態となり, 通信を行う MAC 層プロトコル
 - ▶ 非通信時にスリープ状態となることで省電力化
- ▶ 受信ノードからの通知により通信を開始
 - ▶ 受信ノードは間欠的に自身の ID 番号を含むメッセージ (ID) を発信
 - ▶ 通信が可能であることを周囲に通知
 - ▶ 送信ノードは ID の受信を待機
 - ▶ ID 受信後に通信を開始

IRDT の通信時の動作

- ① 受信側 R : ID 番号を含めたメッセージ (ID) を送信
- ② 送信側 S : ID 受信. 送信要求メッセージ (SREQ) を送信
- ③ 受信側 R : SREQ 受信. RACK を送信し, リンクを確立
- ④ 送信側 S : RACK 受信. データを送信.
- ⑤ 受信側 R : データ受信. DACK を送信し, 通信完了
- ⑥ 送信側 S : DACK 受信. 通信完了. データを破棄

送信要求メッセージ (SREQ) の連続衝突問題

- ▶ 隠れ端末問題
 - ▶ 各ノードはキャリアセンスを行い, 衝突を回避 (CSMA/CA)
 - ▶ メッセージの送信前に周囲の電波状況を確認し, 他ノードが通信をしているならば, 衝突回避のために送信を中止
 - ▶ 電波状況を確認できないノード(隠れ端末)が存在
- ▶ 隠れ端末となる複数の送信ノードからの SREQ が衝突
 - ▶ 一度衝突が起こると, 衝突が連続して発生
 - ▶ ネットワークの性能が劣化する要因^[2]

研究の目的

- ▶ SREQ の連続衝突を回避する手法を提案し, ネットワークの性能を改善
 - ▶ ネットワークの性能:
 - ▶ 各ノードで発生するデータの収集率
 - ▶ 各ノードの消費電力
 - ▶ 各ノードが持つ隣接ノード情報を利用することで, 提案手法の性能を改善
 - ▶ 隣接ノード情報: 通信範囲内に存在するすべてのノードの情報
 - ▶ 隣接ノードの負荷
 - ▶ データ破棄までの残り時間
 - ▶ 自身の情報を ID や SREQ のメッセージに載せて周囲に発信
 - ▶ 受信したノードが情報を更新

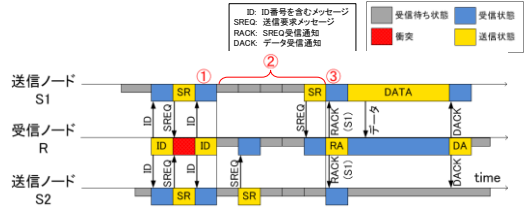
提案手法

- 受信ノードが SREQ の衝突を検知したときに実行
 - ID メッセージに SREQ の送信を制御する値を載せて再送信

提案手法	SREQ の制御	受信ノード (ID 送信時)	送信ノード (SREQ 送信時)
バックオフ	送信タイミング	複数の送信タイミングを指定	送信タイミングを1つ選び SREQ を送信
確率的な送信	送信確率	確率 p を指定	確率 p で SREQ を送信
ポーリング	送信権	SREQ の送信を許可するノードを指定	許可されていた場合のみ SREQ を送信

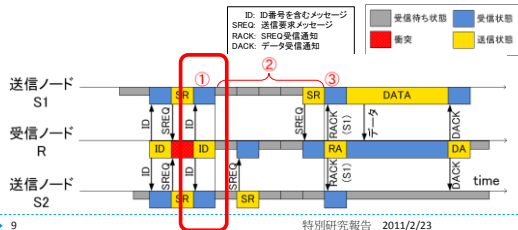
バックオフの動作

- 受信ノードが SREQ の衝突の検知後に開始
 - 受信ノードが ID に複数の送信タイミングを載せて送信
 - 送信ノードがタイミングをランダムに選び SREQ を送信
 - 受信ノードが受信した SREQ から1つ選び、リンクを確立



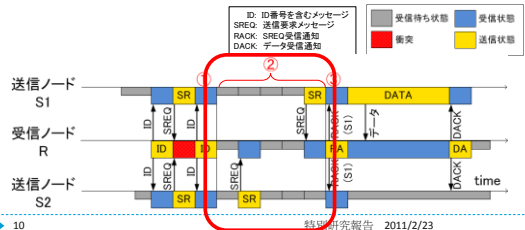
バックオフの動作

- 受信ノードが SREQ の衝突の検知後に開始
 - 受信ノードが ID に複数の送信タイミングを載せて送信
 - 送信ノードがタイミングをランダムに選び SREQ を送信
 - 受信ノードが受信した SREQ から1つ選び、リンクを確立



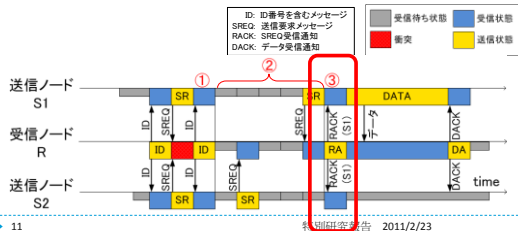
バックオフの動作

- 受信ノードが SREQ の衝突の検知後に開始
 - 受信ノードが ID に複数の送信タイミングを載せて送信
 - 送信ノードがタイミングをランダムに選び SREQ を送信
 - 受信ノードが受信した SREQ から1つ選び、リンクを確立



バックオフの動作

- 受信ノードが SREQ の衝突の検知後に開始
 - 受信ノードが ID に複数の送信タイミングを載せて送信
 - 送信ノードがタイミングをランダムに選び SREQ を送信
 - 受信ノードが受信した SREQ から1つ選び、リンクを確立



シミュレーション環境

ネットワークモデル

パラメータ設定

ノード数	40
シンク数	1
間欠動作周期	1秒
データ破棄時間	5秒
シミュレーション	10000秒
試行回数	50回
送信時電流	20mA
受信時電流	25mA
スリープ時電流	0mA
データサイズ	128byte
通信速度	100kbps

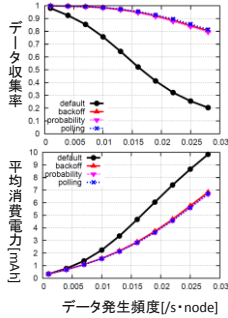
評価指標:
 データ収集率 = シンクノードの受信データ数 / 発生したデータ数
 平均消費電力 = シミュレーション時間内の消費電力の平均値

シミュレーション結果: 既存の IRDT との比較

- ▶ いずれの手法も、データ収集率、平均消費電力が改善
- ▶ ポーリングによる性能改善が最も効果的



これらの手法に隣接ノード情報を用いた制御を追加し、提案手法の性能を改善



▶ 13

特別研究報告 2011/2/23

隣接ノード情報を用いた性能改善

▶ 隣接ノード情報

- ▶ 隣接ノード情報: 通信範囲内に存在するすべてのノードの情報
 - ▶ 隣接ノードの負荷
 - ▶ データ破棄までの残り時間
- ▶ 自身の情報を ID や SREQ のメッセージに載せて周囲に発信
- ▶ 受信したノードが情報を更新

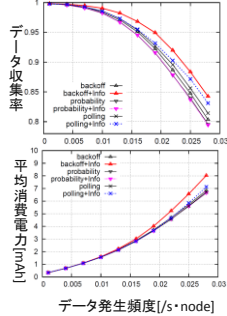
手法	拡張, 利用する隣接ノード情報	利用方法
バックオフ	1. データ破棄までの残り時間 2. 隣接ノードの負荷	1 が少ないノードを優先する なければ 2 が高いノード
確率的な再送	隣接ノードの負荷	隣接ノードの負荷を基に 確率 p を変える
ポーリング	1. 隣接ノードの負荷 2. 衝突の可能性があるノード数	1 が高いノードを優先 なければ 2 が多いノード

▶ 14

特別研究報告 2011/2/23

シミュレーション結果: 隣接ノード情報の利用

- ▶ バックオフとポーリングの性能が向上
- ▶ 最もデータ収集率が良い方式はバックオフ
- ▶ データ発生頻度が高い場合でも 94% 程度のデータ収集率



▶ 15

特別研究報告 2011/2/23

まとめと今後の課題

▶ まとめ

- ▶ IRDTにおける SREQ の連続衝突問題の解決手法の提案
 - データ発生頻度の低い環境において 80% から 95% まで、高い環境では 40% から 90% までデータ収集率を向上できることを確認
- ▶ さらに隣接ノード情報を利用した制御を追加
 - 隣接ノード情報を用いることで、データ収集率をさらに 5% 程度向上できることを確認



1 つのシンクノードに対してのセンサノード数の増加による性能の劣化の防止が可能

▶ 今後の課題

- ▶ 制御メッセージの損失が発生した場合の影響の確認
- ▶ 負荷の変動や残余電力の偏りに着目し、ネットワーク寿命を延ばせるような SREQ の送信制御についての検討

▶ 16

特別研究報告 2011/2/23

IRDT 方式のネットワーク層の動作

▶ マルチホップルーティング

- ▶ 定義
 - ▶ 前向きノード: シンクまでの最小ホップ数が小さい隣接ノード
 - ▶ 後向きノード: シンクまでの最小ホップ数が同じ隣接ノード
- ▶ ID 受信後、データ送信を確率的に実行
 - ▶ 前向きノードへはデータ送信確率 100%
 - ▶ 横向きノードへはデータ送信確率 0%
 - ▶ 全前向きノードとの通信失敗後は 50% に変更

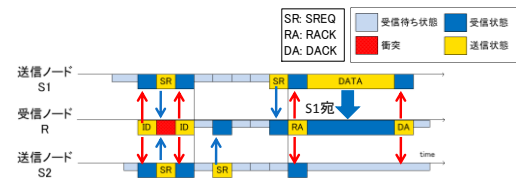


▶ 17

特別研究報告 2011/2/23

バックオフの動作

- ① 受信ノードで衝突が発生
- ② 受信ノードが ID に送信タイミング数を載せて送信
- ③ 送信ノードはタイミングをランダムに選び SREQ 送信
- ④ 受信ノードが受信した SREQ から 1 つ選び、その SREQ を送信したノードとリンクを確立

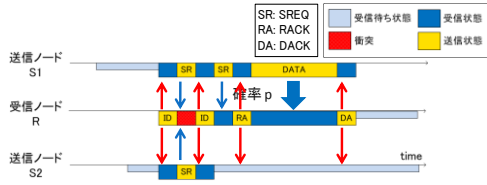


▶ 18

特別研究報告 2011/2/23

確率的な送信の動作

- ① 受信ノードで衝突が発生
- ② 受信ノードが ID に確率 p を載せて送信
- ③ 送信ノードは確率 p で SREQ を送信
 - ▶ 未送信や衝突によって SREQ を受信できなかった場合、再度確率 p を載せた ID を送信

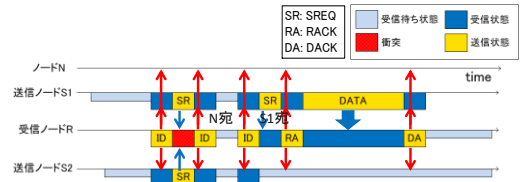


▶ 19

特別研究報告 2011/2/23

ポーリングの動作

- ① 受信ノードで衝突が発生
- ② 受信ノードが ID で SREQ 送信許可を与えるノードを指定
- ③ SREQ の送信を許可されたノードは SREQ を送信
 - ▶ SREQ が送信されなかった場合は、別のノードに SREQ の送信許可を与えた ID を送信



▶ 20

特別研究報告 2011/2/23