

Osaka Pref. Univ.

マルチクラスタ構成を持つ大規模センサネットワークアーキテクチャに関する検討

大阪府立大学
菅野 正嗣
大阪大学
木利 友一, 村田 正幸

Osaka Pref. Univ.

内容

- 研究の背景
- 関連研究と研究目的
- 対象とするセンサネットワークのモデル
- 消費電力の導出
 - 解析
 - シミュレーション
- ネットワーク容量の導出
- まとめと今後の課題

2 情報ネットワーク研究会

Osaka Pref. Univ.

研究の背景

- 大規模で高密度に配置されたセンサネットワーク
 - センサ配置: 数m間隔
 - センサ数: 数百~数千
- クラスタリングによる分散・階層化
 - 消費電力の抑制 (LEACHなど)
 - スケラビリティの向上
 - 対故障性の向上

ネットワーク規模・センサ数(密度)が与えられたとき、クラスタをどのように構成すべきか?
クラスタの大きさや配置がネットワーク寿命や容量に与える影響を検証

GWノード	webインターフェース データベース	数個
広帯域センサ	カメラ マイク	数十個
汎用センサ	ドア、窓 動作センサ	数百個
問題向きセンサ	センサタグ	数千個

3 情報ネットワーク研究会

Osaka Pref. Univ.

アドホックネットワーク・センサネットワークの性能解析

解析による性能評価

- P. Gupta & P. Kumar, "The capacity of wireless networks," *IEEE Trans. Information Theory*, 46, 388-404, 2000.
 - ランダムにノードを配置, 通信距離は一定, 送信相手はランダム
 - ノードあたりのスループット $\lambda = \Theta(W/n)$
- E. Duarte-Melo & M. Liu, "Data-gathering wireless sensor networks: organization and capacity," *Computer Networks*, 43, 519-537, 2003.
 - クラスタヘッド→シンクノード: 1ホップで通信
 - ノードあたりのスループットや総消費電力の導出

研究の目的

- シンクノードにデータが集中するネットワークにおいて、クラスタヘッド間でマルチホップ通信を行なう場合の性能解析
 - ネットワーク容量
 - 消費電力

4 情報ネットワーク研究会

Osaka Pref. Univ.

対象とするセンサネットワークモデル

- 円形のセンシングエリア
- センサノードはランダムに配置
- 各クラスタに一つのクラスタヘッド
- クラスタ内・クラスタヘッドでマルチホップによる通信を行なう
- 全センサはタイムスロットに同期
- TDMAによる通信
- センサノードとしてのチャネルとクラスタヘッドとしてのチャネルを持つ
- ノード*i*から*j*への通信が成功するには
 - $d(i,j) < r$
 - $d(i,j) > d(i,j) + \Delta$
 - Δ : 干渉を避けるためのガードゾーン
- データフュージョンなし
- ルーティング
 - 最も近い隣接ノードに送る
- 制御パケットについては考慮しない

5 情報ネットワーク研究会

Osaka Pref. Univ.

解析による消費電力の導出

- 消費電力モデル
 - k [bit] のデータを d [m] 送信するための消費電力

$$E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d^2$$
 - k [bit] のデータを受信するための消費電力

$$E_{dec} * k$$
- センサノードとしての消費電力
 - クラスタ内での中継のための受信電力
 - (センシングしたデータ+中継データ)の送信電力
- クラスタヘッドとしての消費電力
 - クラスタ内データの受信電力
 - 外側のクラスタからの中継のための受信電力
 - これらを送信するための電力

6 情報ネットワーク研究会

Osaka Pref. Univ.

解析による消費電力の導出

- クラスタ内の解析
 - 各クラスタの形状を円形と近似する
- クラスタヘッドの中継による負荷の導出
 - 幅 r_{CH} (クラスタヘッドの最大通信距離) の環状領域に着目
 - 外側で発生したすべてのパケットは、領域内のクラスタヘッドによって、領域の内側に中継される
 - 環状領域内での中継はほとんど起こらないとみなす
- ノードあたり平均消費電力
 - クラスタヘッドとセンサノードの割合で比例配分

7 情報ネットワーク研究会

Osaka Pref. Univ.

シミュレーションによる評価

- 解析のとの比較を行なうためシミュレーションを行なった
- 使用したパラメータ値
 - センサノード数: 2000
 - エリア半径: 300m
 - センサノード間通信距離: 20m
 - E_{elec} : 50nJ/bit
 - ϵ_{amp} : 100pJ/bit/m²
- クラスタヘッド, センサノードをランダムに配置
- クラスタヘッド間通信距離を変えて評価 (20m~200m)

8 情報ネットワーク研究会

Osaka Pref. Univ.

シンクノードからの距離と平均消費電力

- シンクノードに近づくほど負荷が累積される
 - シンクノードに直接接続するノードに負荷が集中する
 - シンクノードの受信チャンネルがボトルネックとなる
 - 消費電力が大きく最も寿命が短い
 - シンクノード近辺の電力が枯渇するためネットワーク全体が停止

ネットワーク容量・ネットワーク寿命ともにシンクノード近辺で決まる

シンクノード近辺の負荷を分散することが重要

クラスタヘッドの通信距離 $r_{CH} = 100m$ の場合

9 情報ネットワーク研究会

Osaka Pref. Univ.

シンクノード近辺の中継による負荷を削減

- 基本のルーティング
 - 内側にクラスタヘッドがあれば必ず中継
- シンクノードに届くならば無駄な中継をしない
 - シンクノードに直接送信するノードを増やす

10 情報ネットワーク研究会

Osaka Pref. Univ.

ネットワーク全体の総消費電力

- クラスタヘッドの通信距離が大きくなると、急激に増加する
 - 実際の環境ではもっと大きい
- ZigBeeによる実測値
 - 2.06乗 (廊下)
 - 3.10乗 (会議室)
- 消費電力モデルにおける ϵ_{amp} の影響

11 情報ネットワーク研究会

Osaka Pref. Univ.

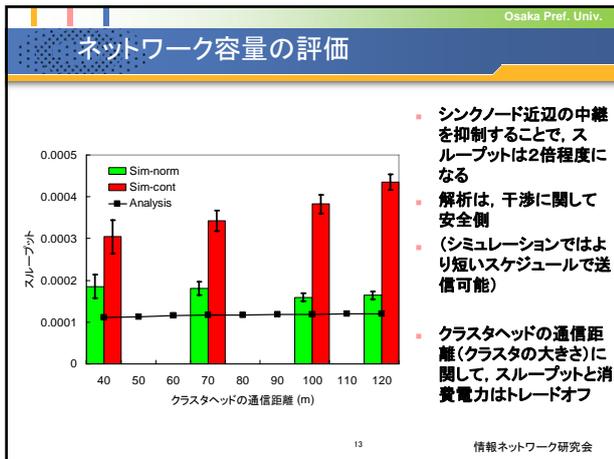
ネットワーク容量の解析

- シンクノードに1ホップで直接送信するクラスタヘッドがボトルネックとなる
- ネットワーク内のすべてのパケットを均等に中継
- これらのノードが干渉なく送信できるスケジュール長からスループットを導出する

半径 $(2 * r_{CH} + \Delta)$ 内で他のノードによる送信がない
(実際には、より短いスケジュールで送信可能)

→ シミュレーションではすべてのノードの位置情報に基づいた理想的なスケジューリングが可能とする

12 情報ネットワーク研究会



- Osaka Pref. Univ.
- ## まとめと今後の課題
- **まとめ**
 - クラスタヘッド間でマルチホップ通信を行なうセンサネットワークの消費電力とスループットを解析により導出
 - データフュージョンを行わない場合は、シンクノード近辺に負荷が集中
 - シンクノード近辺の中継を抑制することで、消費電力やスループットを向上できる
 - **今後の課題**
 - クラスタリングやルーティングにさまざまな方式を適用した場合の評価
 - 干渉によるパケット損失が発生する場合
→CSMA/CAによる再送の影響
- 14 情報ネットワーク研究会