

センシング要求に適応的なセンサ情報収集機構

谷口義明[†] 若宮直紀[†] 村田正幸[†] 福島高司[‡]
[†]大阪大学 大学院情報科学研究科
[‡]株式会社神戸製鋼所 生産システム研究所

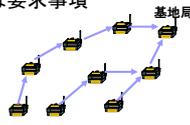
y-tanigu@ist.osaka-u.ac.jp

発表内容

- 研究の背景
- 適応的センサ情報収集機構
 - センシング状況にあわせた柔軟な頻度での情報収集
- シミュレーション評価
- デモンストレーション
- まとめと今後の課題

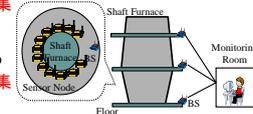
センサネットワーク

- 無線通信機能を有するセンサ端末を多数配置
- 環境情報を収集、利用
 - 農場・工場監視、生態観測、大気観測等
- センサ情報収集機構への一般的な要求事項
 - 電力効率の良い制御
 - 電池駆動、交換コスト
 - 自律分散的な制御
 - 多数のセンサ端末が配置
 - 拡張性、ロバスト性
- 周期的なセンサ情報収集ではアクティブ状態とスリープ状態を遷移する**スリープ制御**が電力消費抑制に効果的



センシング、情報収集周期への要求

- アプリケーションによっては、センシング対象の状況変化に応じた周期でのセンシング、情報収集が必要
- 例) 高炉モニタリング (温度とCOガスの遠隔監視)
 - 平時:
 - 長周期でのセンシング、情報収集
 - 温度変化時、変化領域:
 - 長期的に上下する温度に対する中周期でのセンシング、情報収集
 - COガス漏洩時、漏洩領域:
 - 急速に漏洩、拡散、移動するCOガスに対する短周期でのセンシング、情報収集

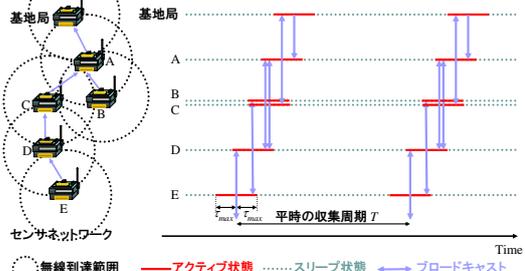


研究の目的

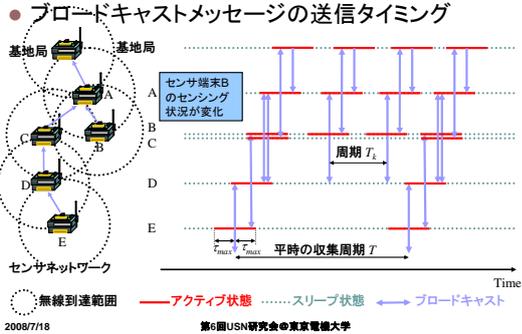
- センシング対象の状況変化に応じた柔軟な周期でセンシング、情報収集を実現する手法を提案
 - センサ端末は k_{max} 個のセンサを持つ
- 動作概要
 - 平時には全てのセンシング対象から同じ周期でセンシング、情報収集を行う
 - 温度変化やCOガス漏洩などの異常発生時には、センシング対象の変化の度合いに応じた適切なセンサ端末が頻繁なセンシング、情報収集を行う

提案機構の動作例(平時)

- ブロードキャストメッセージの送信タイミング



提案機構の動作例(異常時)



2つのセンシング状態

- センサ端末 i はセンシング対象 k ($1 \leq k \leq k_{max}$) に対してセンシング状態 $x_{i,k}$ を管理
 - 通常センシング状態 ($x_{i,k}=0$)
 - 基本周期 T でセンシング、センサ情報をブロードキャスト
 - 詳細センシング状態 ($x_{i,k}=1$)
 - より短い周期 T_k でセンシング、センサ情報をブロードキャスト
 - T_k は事前に設定されているものとする
 - 基地局との間に位置するセンサ端末も周期 T_k で動作

→ 反応閾値モデル (Response Threshold Model) により状態を自律的に決定

2008/7/18

第6回USN研究会@東京電機大学

8

反応閾値モデルによる状態の決定

- センサ端末 i がセンシング対象 k をセンシングする必要性 (需要)

$$\frac{ds_{i,k}}{dt} = \delta_{i,k}(t) - \alpha \frac{n_{i,k}(t)}{N_{i,k}(t)}$$

↑

(設定例) 温度の観測値の時間変化、COガスの観測値
- 詳細センシング状態 ($x_{i,k}=1$)、通常センシング状態 ($x_{i,k}=0$) への遷移確率

$$P(x_{i,k}=0 \rightarrow x_{i,k}=1) = \frac{s_{i,k}^2(t)}{s_{i,k}^2(t) + \theta_{i,k}^2(t)}$$
- 閾値の制御による役割分化

$$\frac{d\theta_{i,k}}{dt} = \begin{cases} -\xi & \text{if } i \text{ performs frequent sensing} \\ +\phi & \text{otherwise} \end{cases}$$

いったん詳細センシング状態に遷移したセンサ端末は詳細センシング状態に、通常センシング状態に遷移した端末は通常センシング状態にとどまりやすくなる

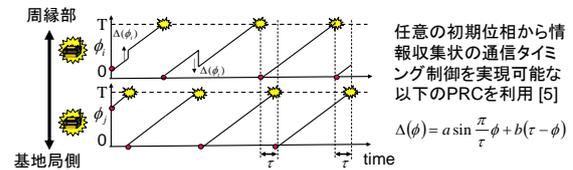
2008/7/18

第6回USN研究会@東京電機大学

9

ブロードキャストタイミングの調整

- 自律的な調整のためにパルス結合振動子モデルを応用
 - センサ端末はタイム位相 $\phi \in [0, T]$ を持ち、タイム位相が T になるとメッセージをブロードキャスト、位相を 0 に戻す
 - 基地局により近いセンサ端末からメッセージを受信した場合は位相を $\Delta(\phi)$ だけ偏移
 - Δ : PRC (Phase Response Curve)



センサ端末の持つ主な制御情報

- タイマ位相 $\phi_i \in [0, T]$
- オフセット τ_i ($\tau_{min} < \tau_i < \tau_{max}$)
- レベル値 l_i (初期値無限大)
- センシング状態ベクトル $X_i = \{\forall k x_{i,k}\}$
- 中継フラグベクトル $F_i = \{\forall k f_{i,k}\}$
 - 詳細センシング状態にある上流のセンサ端末からのセンサ情報を下流に中継する場合は $f_{i,k}=1$ 、しない場合は $f_{i,k}=0$
- 反応閾値モデルのパラメータ
 - 需要ベクトル $S_i = \{\forall k s_{i,k}\}$ 、閾値ベクトル $\Theta_i = \{\forall k \theta_{i,k}\}$
 - 近隣端末センシング状態ベクトル $Y_i = \{\forall j X_j\}$
- センサ情報 D_i

2008/7/18

第6回USN研究会@東京電機大学

11

センサ端末の動作

- 以降簡単のため、 $k_{max}=1$ として説明
- センサ端末 i はタイム位相 ϕ_i および中継フラグ f_i にもとづいて動作

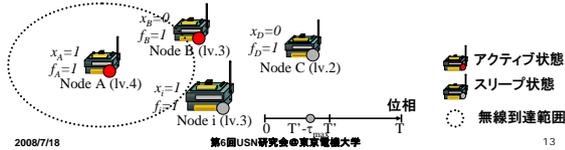
2008/7/18

第6回USN研究会@東京電機大学

12

スリープ状態→アクティブ状態

- センサ端末 i は自身のタイマ位相が $\phi_i = T' - \tau_{max}$ となるとスリープ状態からアクティブ状態になる
 - $\phi_i = \phi_i \bmod T, T = T$ ($f_i=0$ の場合)、 $T = T_i$ ($f_i=1$ の場合)
 - パルス結合振動子モデルにもとづくブロードキャストタイミング調整により上流のセンサ端末はこのタイミング以降にメッセージをブロードキャストするようにスケジュール
 - センサ端末 j がブロードキャストするメッセージには、センサ端末番号 j 、レベル値 l_j 、センシング状態 x_j 、中継フラグ f_j 、同期フラグ z_j 、センサ情報 D_j が含まれる



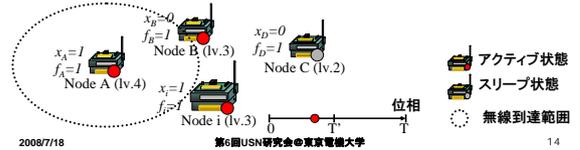
2008/7/18

第6回USN研究会の東京電機大学

13

上流の端末からのメッセージ受信

- レベル値 l_j が $l_j = l_i + 1$ のメッセージを受信した場合
 - センサ情報を追加 $D_i \leftarrow D_j + D_i$
 - $f_j = 1$ であれば自身の中継フラグを $f_i = 1$ と更新



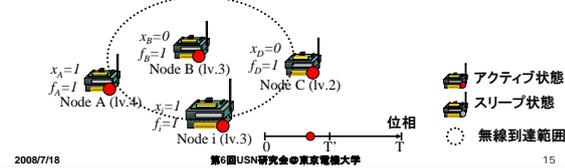
2008/7/18

第6回USN研究会の東京電機大学

14

同レベルの端末からのメッセージ受信

- レベル値 l_j が $l_j = l_i$ のメッセージを受信した場合
 - 同じセンサ情報を削除 $D_i \leftarrow D_i - D_j$
 - センサ情報 D_j が空になれば中継フラグをリセット $f_i = 0$
 →ブロードキャストメッセージに含まれるデータ量を削減し、センサ情報を中継するセンサ端末数を抑制



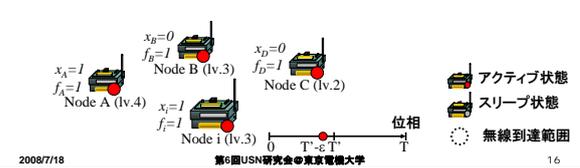
2008/7/18

第6回USN研究会の東京電機大学

15

センシング

- センサ端末 i は自身のタイマ位相が $\phi_i = T' - \varepsilon$ となると反応閾値モデルに基づき自身のセンシング状態 x_i を決定
 - $x_i = 1$ であればセンシングを行い、中継フラグをセット $f_i = 1$
 - 周期 T のセンシングタイミングであればセンシング状態によらずセンシングを行う



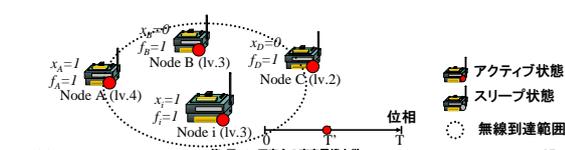
2008/7/18

第6回USN研究会の東京電機大学

16

メッセージのブロードキャスト

- センサ端末 i は自身のタイマ位相が $\phi_i = T'$ あるいは $\phi_i = T$ となるとメッセージをブロードキャスト
 - $\phi_i = T$ であればメッセージ中の同期フラグ z_i を設定するとともに、タイマ位相 ϕ_i を0に戻す



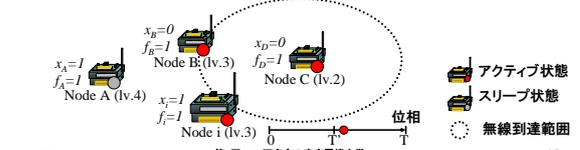
2008/7/18

第6回USN研究会の東京電機大学

17

下流の端末からのメッセージ受信

- センサ端末 i はブロードキャスト送信後 τ_{max} 間、アクティブ状態を継続し、スリープ状態に遷移
- レベル値 l_j が $l_j < l_i$ のメッセージを受信した場合
 - 同期フラグ z_j が設定されていれば、自身のレベル値を $l_i = l_j + 1$ に更新し、自身のタイマ位相 ϕ_i を $\Delta(\phi_i)$ だけ調整



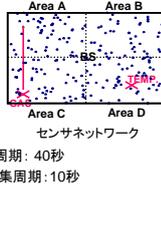
2008/7/18

第6回USN研究会の東京電機大学

18

シミュレーションによる基本動作検証

- シミュレーション設定
 - 100m × 100mの領域に200台のセンサ端末
 - 基地局 (BS) を領域の中央に設置
 - ブロードキャスト半径20m
 - 2種類のセンサ(温度とCOガス濃度)
 - 平時のセンシング、情報収集周期: 160秒
 - 温度変化時、変化場所でのセンシング、情報収集周期: 40秒
 - COガス発生時、発生場所でのセンシング、情報収集周期: 10秒
- シナリオ
 - 時刻500-1500秒: 領域Dで温度が変化
 - 時刻1000-2000秒: COガスが漏洩し領域Cから領域Aに0.08m/sで移動

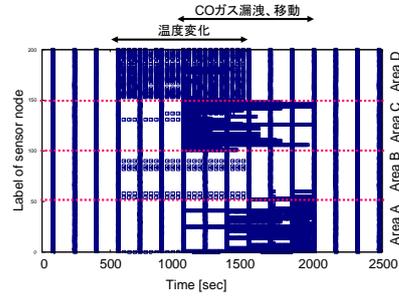


2008/7/18

第6回USN研究会@東京電機大学

19

メッセージの送信タイミング



2008/7/18

第6回USN研究会@東京電機大学

20

消費電力とデューティ比の比較

- 適応的な周期での情報収集(周期10、40、160秒)
 - センサ端末あたりの消費電力: 57.6 mJ
 - デューティ比: 0.03
- 固定周期での情報収集(周期10秒)
 - センサ端末あたりの消費電力: 632 mJ
 - デューティ比: 0.2

2008/7/18

第6回USN研究会@東京電機大学

21

デモンストレーション

- センシング、情報収集周期
 - 平時: 32秒
 - 温度変化時: 8秒
 - COガス漏洩時: 4秒
- 表示
 - 赤色: アクティブ状態
 - 灰色: スリープ状態
 - 桃色: 温度変化
 - 青色: ガス漏洩
- シナリオ
 1. 温度変化
 2. COガスの漏洩、移動



2008/7/18

第6回USN研究会@東京電機大学

22

まとめと今後の課題

- まとめ
 - センシング要求に適応的なセンサ情報収集機構の提案
 - センシング状態の決定に反応閾値モデルを利用
 - ブロードキャスト送信タイミングの調整にパルス結合振動視モデルを利用
 - シミュレーションによる基本動作の確認、検証
- 今後の課題
 - 情報収集率や遅延といった観点での性能評価、改良
 - 提案機構の実装、実験評価

2008/7/18

第6回USN研究会@東京電機大学

23

ありがとうございました