

23. XBee を用いたセンサーネットワークの構築と実験に関する研究 - 起動・停止制御方策の実装 -

指導教員：平田 研二 准教授 機械創造工学課程 11309581 森澤 僚一

1. はじめに

背景

地震や集中豪雨などを起因とする斜面崩落による被害が毎年各地で報告されている
 ▶ 災害から構造物の被害をいち早く予測，検知するための災害監視システムが必要
 → 斜面の崩壊検知システムとして，センサーネットワーク技術の利用に注目

問題

常時電源の確保が困難な使用環境のため，各センサーノードは電池で駆動
 ▶ センサーネットワークの実用性向上のためには，省電力化による長期運用が必要

目的

センサーネットワークの消費電力を低減するために，起動・停止制御方策を実装した実験環境の構築を行う

2. 起動・停止制御方策 [1]

$\phi_i(t)$: センサーが取得すべき情報 (危険度)
 $a_i(t)$: センサーの起動状態 (On: $a_i(t) = 1$, Off: $a_i(t) = 0$)
 $A_i(t)$: 自身を含めた起動状態にある近傍のセンサー全体
 ($|A_i(t)|$: $A_i(t)$ の要素数)
 $z_i(t) = a_i(t) \times \phi_i(t)$ (観測値)

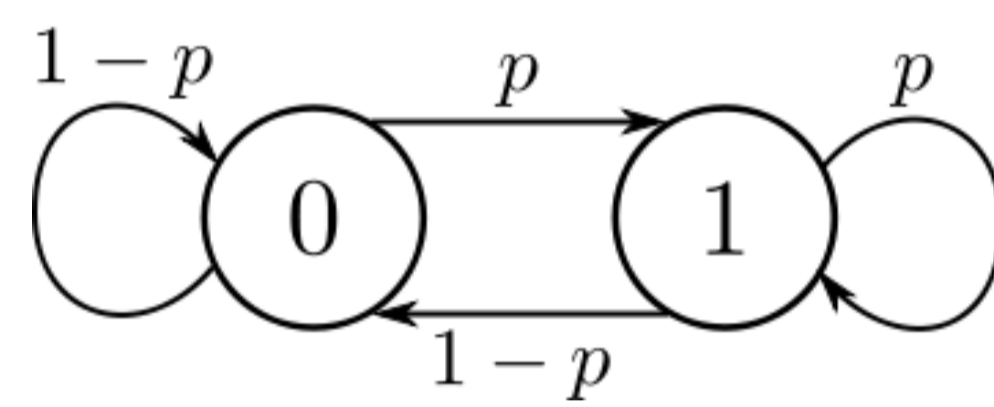


Fig. 1: State diagram

近傍からの情報の利用は，起動している各センサーによる観測値の平均値を考える

$$u_i(t) = \begin{cases} p_i(t) & |A_i(t)| = 0 \text{ のとき} \\ \sum_{j \in A_i(t)} \frac{z_j(t)}{|A_i(t)|} & \text{それ以外} \end{cases}$$

静的な方策

センサー自身の起動状態に従って起動確率の更新則が切り換えられる

- 初期起動確率 $p_i(0)$ を指定
- 起動確率 $\Pr[a_i(t) = 1] = p_i(t)$ に基づきセンサーの起動状態 $a_i(t)$ を決定
- 各センサーは $z_i(t)$ を観測．また，近傍との通信により観測値の平均値 $u_i(t)$ を取得
- センサーの起動状態により起動確率を更新
 センサーが On ($a_i(t) = 1$) : 起動確率 $p_i(t) = z_i(t)$
 センサーが Off ($a_i(t) = 0$) : 起動確率 $p_i(t) = u_i(t)$

動的な方策

センサーの起動確率 $p_i(t)$ の急激な変動を避けるために更新の振る舞いに慣性を持たせる
 起動確率の更新則として $p_i(t)$ に対する内部状態 $x_i(t)$ を導入した状態方程式を用いる

$$\begin{aligned} x_i(t+1) &= \lambda x_i(t) + (1-\lambda)u_i(t) \\ p_i(t+1) &= x_i(t) \end{aligned}$$

- $\lambda \in [0, 1]$ および初期起動確率 $p_i(0)$ ，起動確率の内部状態 $x_i(0)$ を指定
- 起動確率 $\Pr[a_i(t) = 1] = p_i(t)$ に基づきセンサーの起動状態 $a_i(t)$ を決定
- 各センサーは $z_i(t)$ を観測．また，近傍との通信により観測値の平均値 $u_i(t)$ を取得
- 状態方程式に基づいて内部状態 $x_i(t)$ および起動確率 $p_i(t)$ を更新

3. センサーノードの構成

センサーノード

- 無線通信部には Digi International 社の XBee を使用
- 制御部には Arduino Fio を使用
- 電源供給部として市販の充電電池を用いる

無線通信モジュール XBee

Table 1: Specification

性能	
RFデータレート	250Kbps
屋内/アーバン・レンジ	30m
屋外/RF見通しレンジ	90m
送信出力	1mW(+0dBm)
受信感度 (1% PER)	-92dBm
電力条件	
電源電圧	2.8 ~ 3.4V DC
送信ピーク電流	45mA
受信電流	50mA
パワーダウン電流	10 μ A 以下

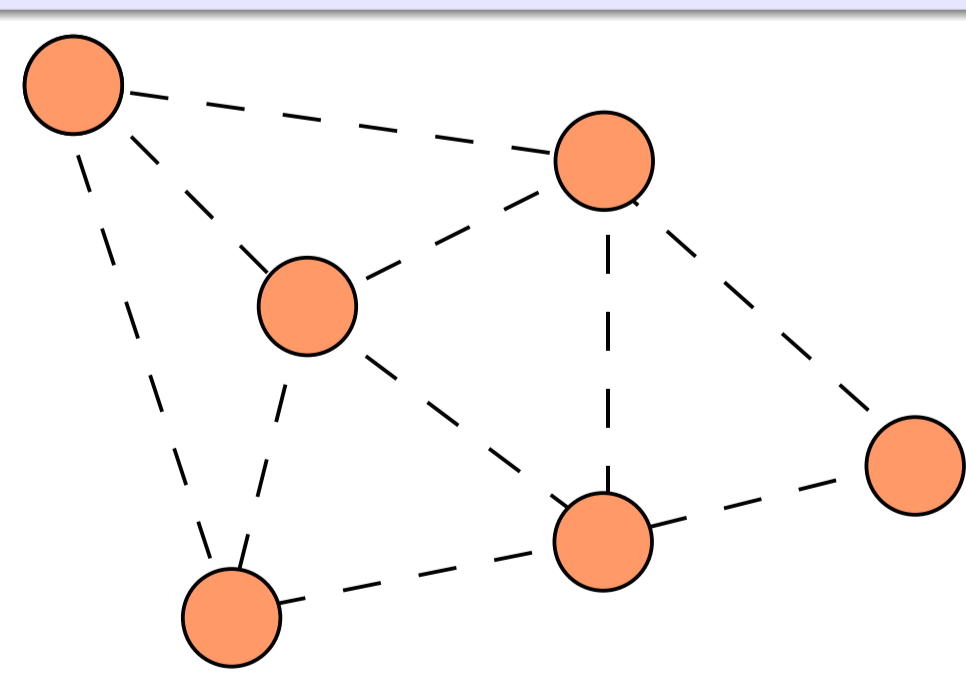


Fig. 2: Mesh network

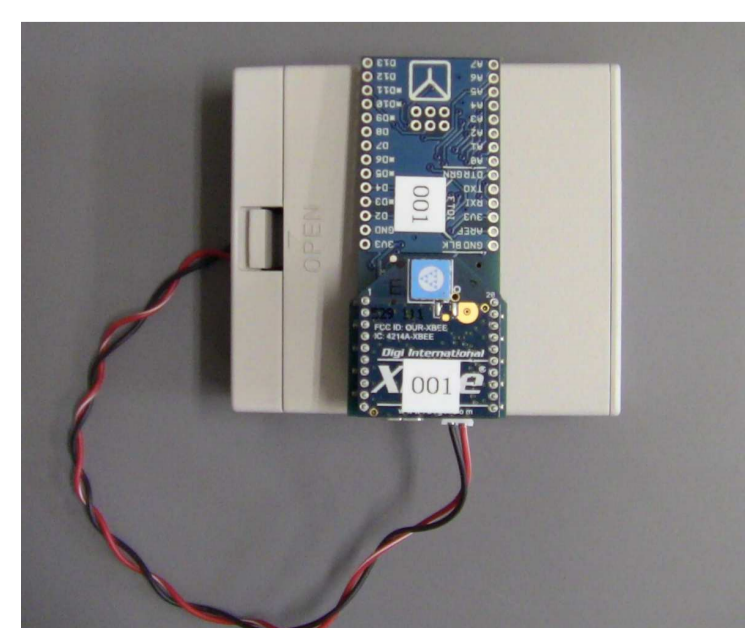


Fig. 3: Sensor node

4. 実験環境の構成

5x5のネットワーク構成で実験環境を構築

- 各センサーは近傍に配置されたセンサーと通信
- 自身を含めた近傍のセンサーとの通信により起動確率を指定
- 起動確率，センサーの On/Off 状態をホストに送信

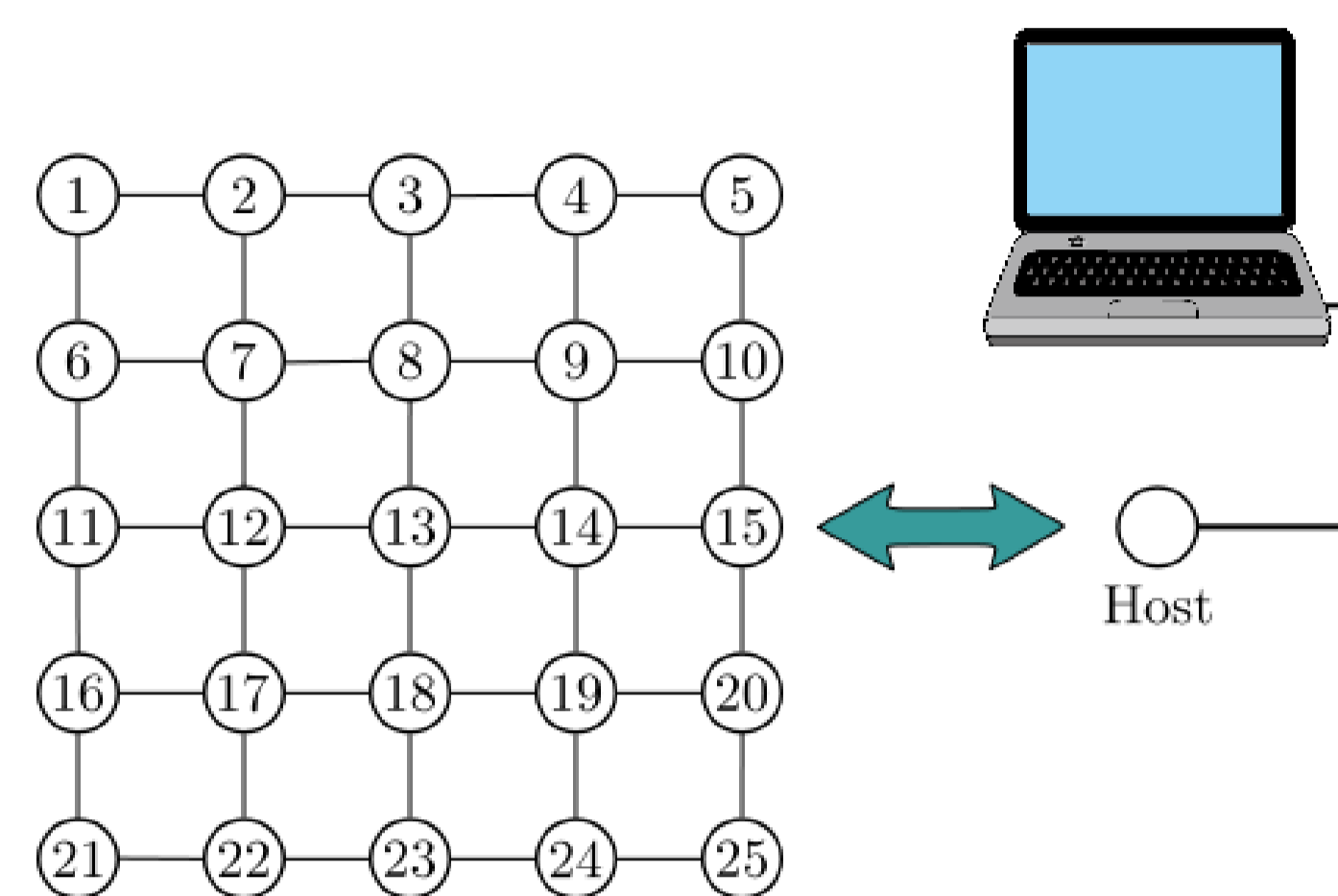


Fig. 4: Network configuration

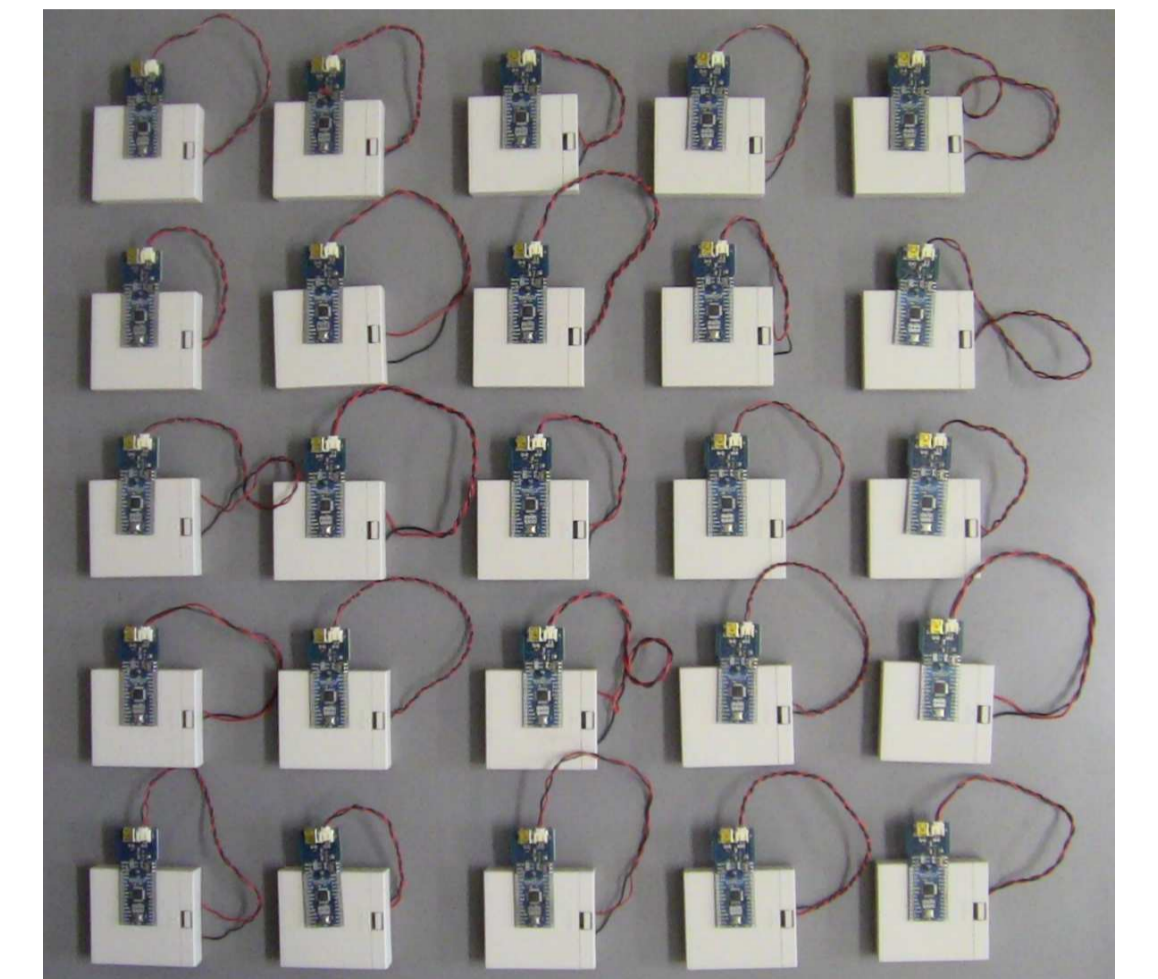


Fig. 5: Experiment environment

5. 実験結果

5x5のネットワーク構成において，以下の項目について検証

- センサーが取得すべき情報 (危険度) $\phi_i(t)$ と起動確率 $p_i(t)$
- センサーの On/Off 状態 $a_i(t)$

静的な方策

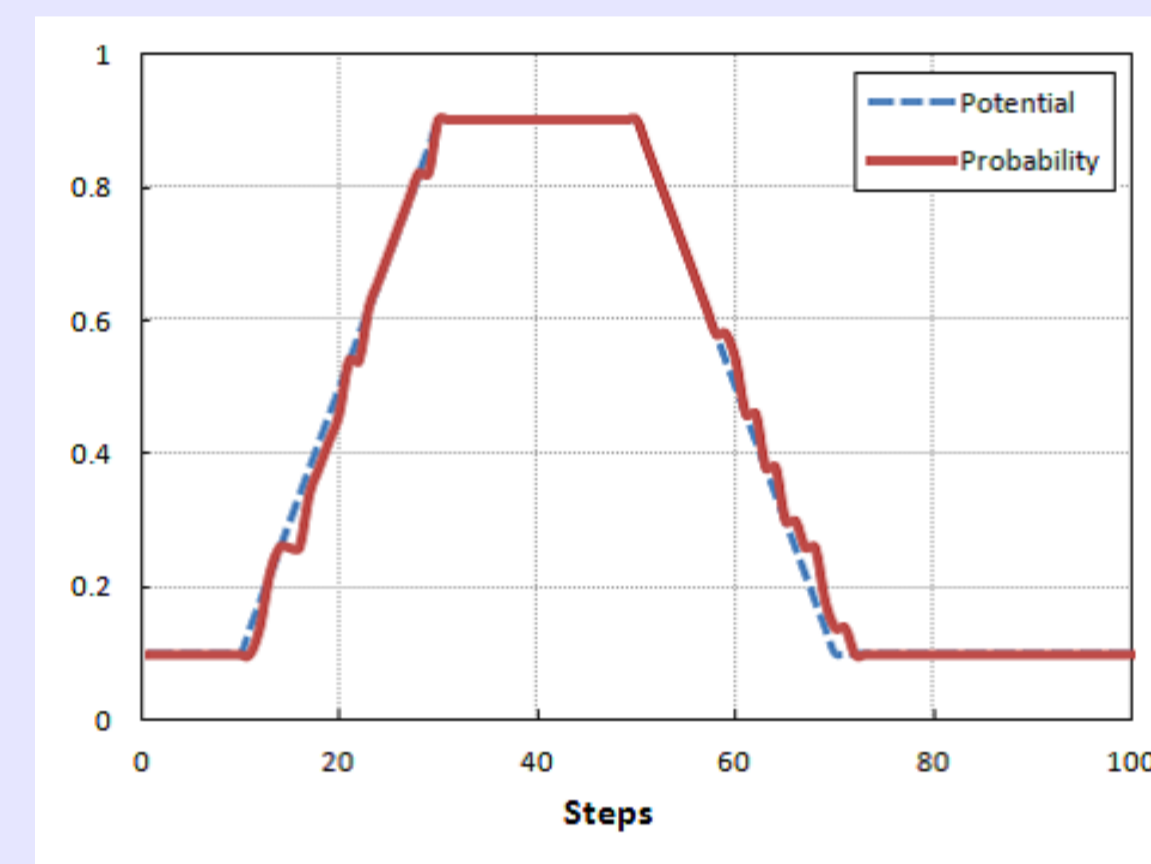


Fig. 6: Sensor node 13 (Static)

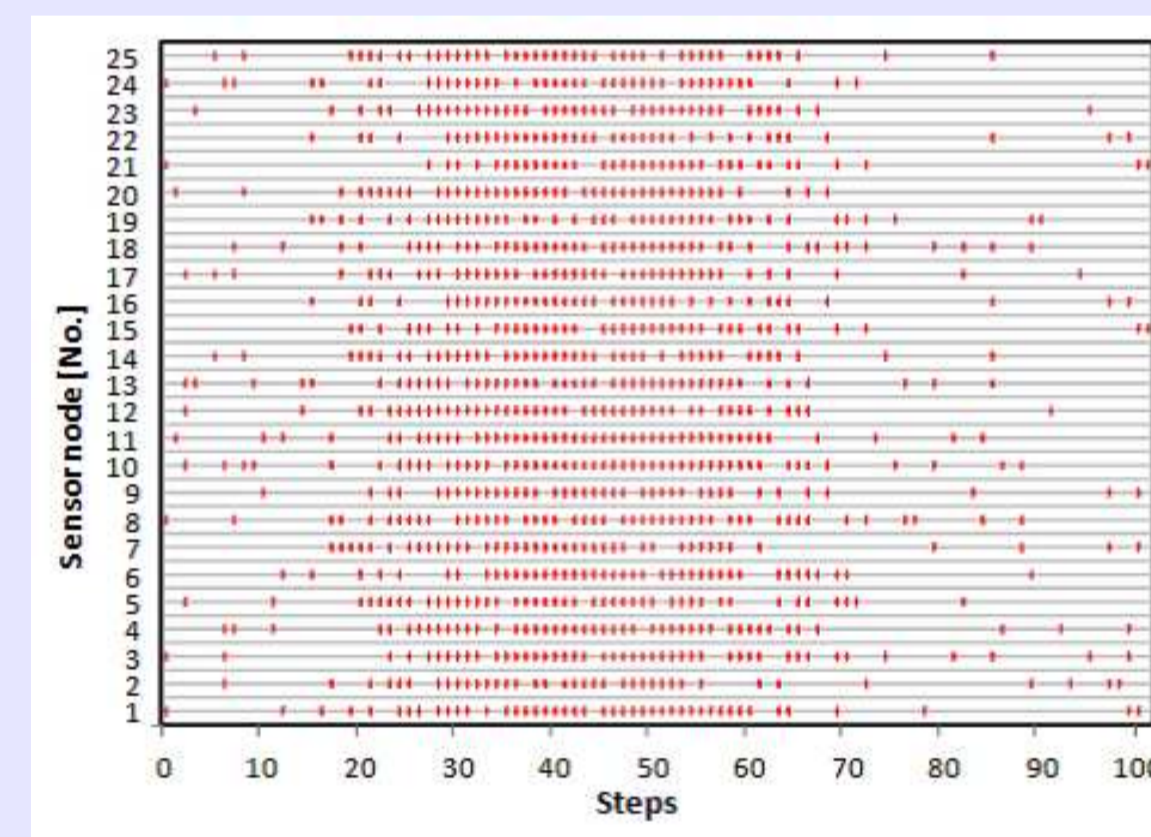


Fig. 7: Action (Static)

動的な方策 ($\lambda = 0.2$)

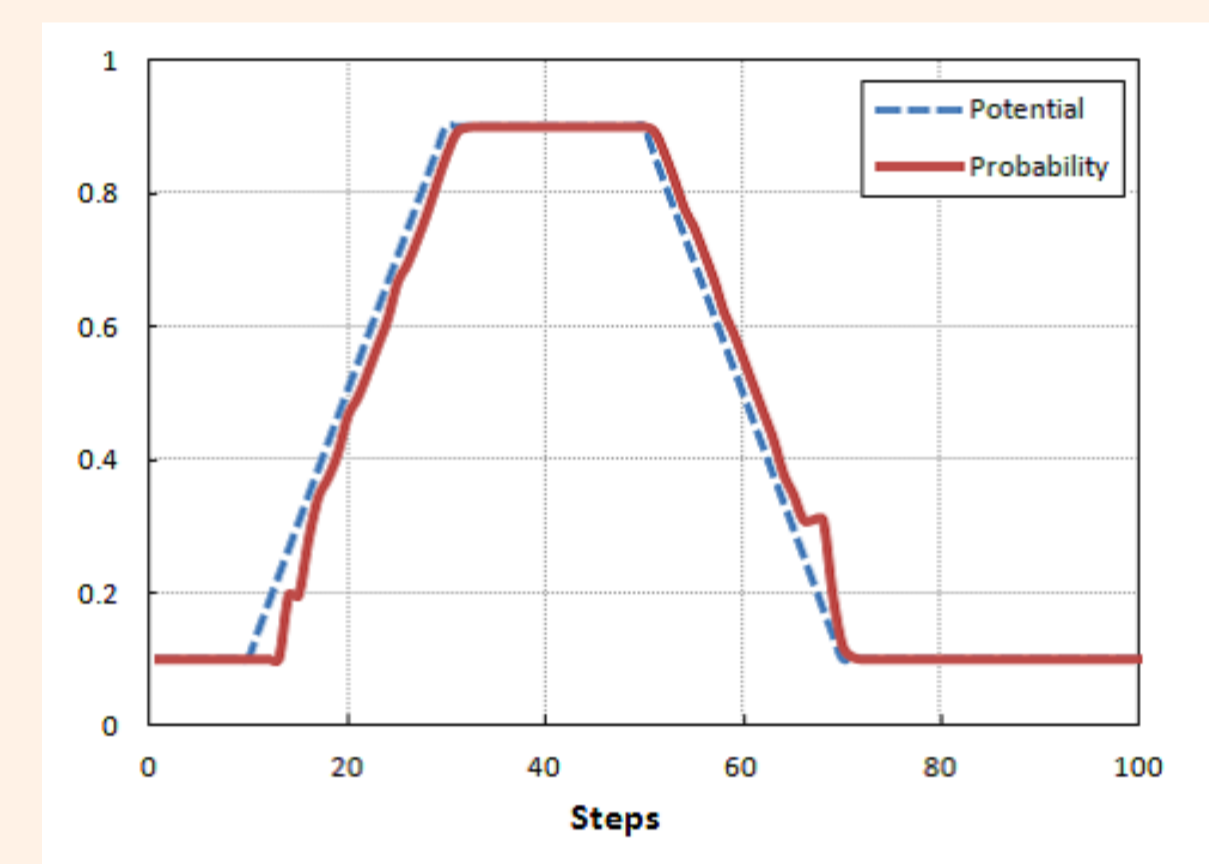


Fig. 8: Sensor node 13 (Dynamic)

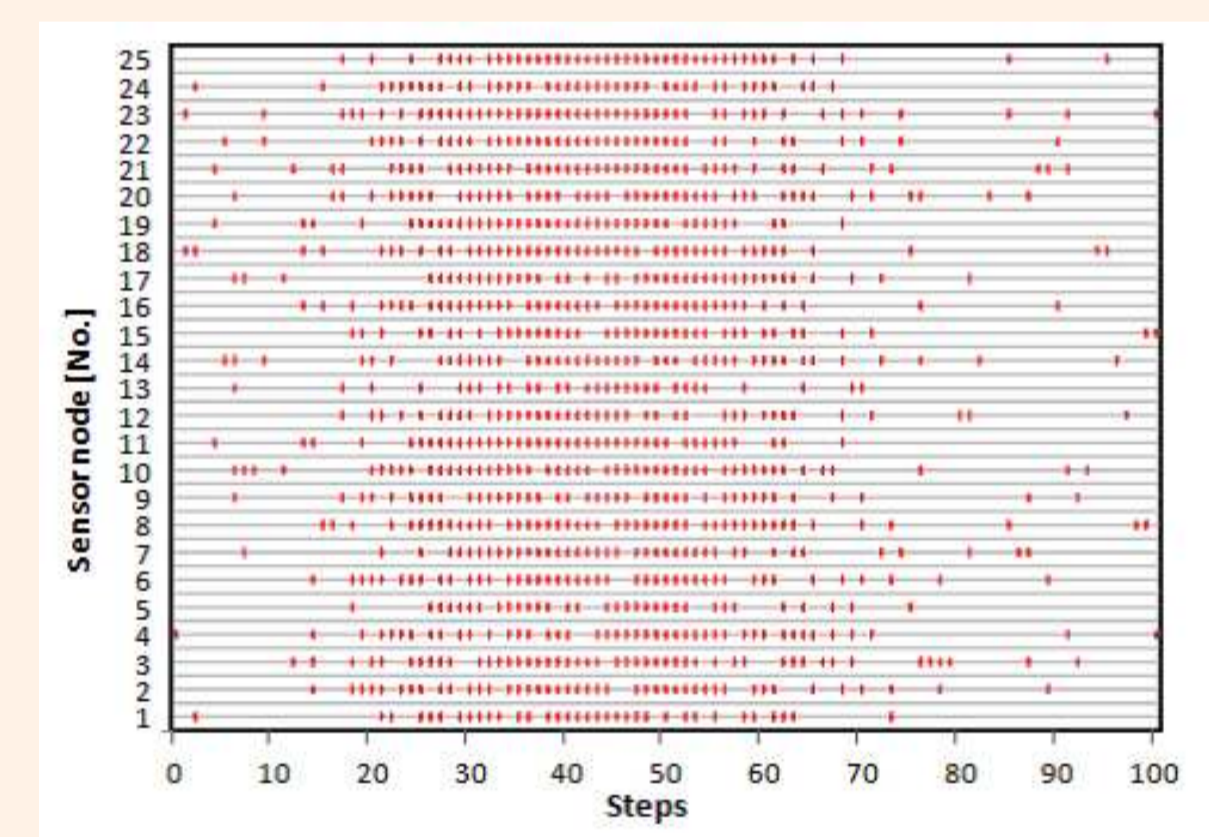


Fig. 9: Action (Dynamic)

実験結果より

- 危険度 $\phi_i(t)$ の変化に応じて起動確率 $p_i(t)$ が更新
- 危険度 $\phi_i(t)$ の高い場合は，多くのセンサーが On 状態に切り換わる
- 動的な方策では，起動確率 $p_i(t)$ の変動に慣性がある

6. おわりに

- 起動・停止制御方策を実装したセンサーネットワークの再現
- 5x5のネットワーク構成で実験を行い，起動確率の変動と On/Off 切り換えの確認

7. 今後の課題

- 起動・停止制御方策による省電力化の効果の評価
- センサーノード間の通信対象を自動確立するシステムの構築
- 通信距離や気象などによる通信性能への影響についての検証

参考文献

[1] 平田, 吉武, 小泉: 斜面災害監視用センサーネットワークの起動・停止制御に関する考察. 第49回 離散事象システム研究会, pp. 25/28, 2011.
 [2] 和田 匡平, 起動・停止制御方策によるセンサーネットワークの省電力化と実験に関する研究, 平成23年度情報・制御工学実験・設計成果発表, 2011.