

流れるセンサネットワークの ノード分断を考慮した通信方法に関する考察

三竹一馬[†] 石原進[‡]

静岡大学工学部[†] 静岡大学創造科学技術大学院[‡]

1 はじめに

河川や下水の様な水流環境の画像等のデータを収集するために、筆者らは文献 [1] の様な、流れるセンサネットワークの開発を行っている。流れるセンサネットワークとは、水流に流した複数のセンサノードによって画像等のデータ収集を行い、ノードが下水道のマンホールや河川沿いに設置された固定のアクセスポイント (AP) と通信を行うことで観測データを回収するシステムである (図 1)。このシステムでは河川沿岸の写真撮影や流域の調査、下水管内の検査への利用を想定している。センサノードは電池駆動であり、起動時間に限りがあるため、省電力化は無線センサネットワークにおける主要な課題の一つである。省電力化の方法としては、各センサノードが近隣ノードと相互通信を行うことによって、それぞれの起動タイミングを決めたスケジュールを設定し、各ノードが起動と休眠を繰り返す方法がよく用いられる。

流れるセンサネットワークでも各ノードが起動・休眠を繰り返して動作する。しかしながら、水流環境ではノードが非自律的に移動し、ノード群の分断等による位置関係の変化が発生する。ノード群の分断が起きた場合、観測期間の一部に起動ノードが存在しない状況が生まれることによって、データ回収率が低下することが考えられる。そこで、本論文では流れるセンサネットワークのモデル化を行い、流れるセンサによる水路上の観測データの回収率について基礎的な検討を行う。

2 流れるセンサネットワーク

流れるセンサネットワークでは、より広い領域の観測データを AP へ送信することを目標とする。

2.1 前提条件

本論文では以下の条件で動作する流れるセンサネットワークを仮定する。

- センサノードは水流によって非自律的に移動する。
- 各ノードは不定期に AP への通信機会を得る。また、AP との通信範囲は限られる。
- センサノードの電源容量は少なく、間欠的に起動しない限り、水路の終端まで稼働状態を維持できない。

Study on communication method considering the division of a group of nodes for flowing sensor networks
Kazuma MITAKE[†] and Susumu ISHIHARA[‡]

[†]Faculty of Engineering, Shizuoka University, [‡]Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

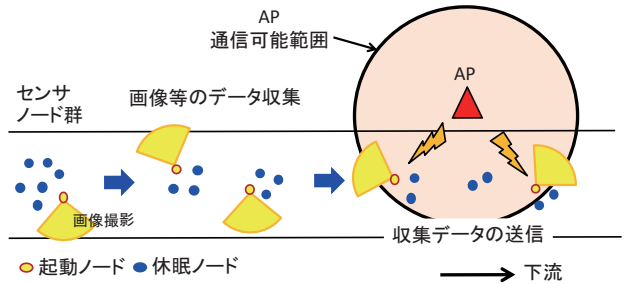


図 1: 流れるセンサネットワーク概要図

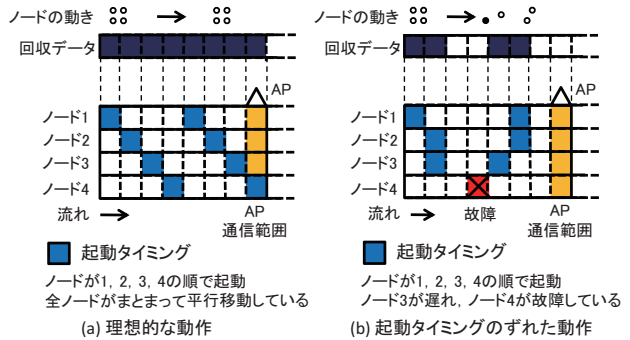


図 2: 起動スケジュールとデータ回収状況

- 電池切れや故障により動作停止したノードのデータは回収できない。

2.2 ノードの間欠的動作

流れるセンサネットワークでは各ノードが観測状態と休眠状態を繰り返すことで、電力の消費を抑え、より長い時間の観測を可能にする。各ノードは通信可能な近隣ノードとグループを形成し、通信を行うことによって、自身の起動スケジュールを決める。各ノードが起動している様子と、それによるデータの回収状況の例を図 2 に示す。グループごとにまとめて移動し、4つのノードが順に起動する理想的な場合、図 2(a) のように、各地点で常にグループ内の少なくとも1つのノードが起動し、データの観測を行うことができる。現実の環境では、ノードの移動は水流に依存し、ノードの移動速度の違い、ノードの沈没・故障によってノードの位置関係は大きく変化する。そのため、図 2(b) のように起動ノードが不在のエリアが生まれることで、データの回収率が低下することが考えられる。

3 データ回収率の定式化

本章では、流れるセンサネットワークのモデルを示し、データ回収率の定式化を行う。

3.1 流れるセンサネットワークのモデル化概要

水流上でのノード群の動作を考えるために、同じ水路上の N 個のノードの動きを、セルオートマトンによって図 3 の様にモデル化する。水路は各ノードごとに、横一列に並んだセルで表される。各ノードは時刻 $t = 0$ に左端 ($x = 1$) に配置され、時間が 1 ステップ経過するごとに移動率 P_m によって隣のセルに移動する。各ノードは時間が 1 ステップ経過するごとに起動率 P_w に従って起動し、自身が位置しているセルの観測を行う。起動した状態のノードが通過すると、セルのデータの収集は行われるものとする。各ノードは初期電力 E_{max} をもち、セルの観測を行う度に E_d の電力を消費する。合計で E_{max} の電力を消費したノードは電池切れとなる。また、各ノードは時間 1 ステップごとに確率 P_b で故障する。電池切れや故障が発生したノードはそれ以上観測を行うことはできない。図 3 において、縦に同列表示されるセルは同じ観測領域とみなし、そこで複数のノードが起動した場合、同一のデータを取得するものとする。

3.2 データ回収率の計算

電池容量が十分に大きいとすると、時刻 t に各ノードが観測を行う確率 $O(t)$ は、起動率 P_w と故障率 P_b より、

$$O(t) = P_w(1 - P_b)^t \quad (1)$$

と表すことができる。時刻 1 から t までに回収したデータの総量の期待値は以下のように導かれる。

$$I(t) = N \sum_{i=0}^t \{i_t C_i O(t)^i (1 - O(t))^{t-i}\} \quad (2)$$

初期電力 E_{max} のノードが回収できるデータ量は最大 $\lfloor E_{max}/E_d \rfloor$ 個である。 $t_e = \lfloor E_{max}/E_d \rfloor$ とすると、 t_e における回収データの総量 $I_e(t)$ は、以下のように求められる。

$$I_e(t) = I(t) - N \sum_{i=t_e}^t (i - t_e)_t C_i O(t)^i (1 - O(t))^{t-i} \quad (3)$$

次に、回収したデータのうち重複しているデータ量 $R(t)$ を求める。開始地点から $x (= 1, 2, \dots)$ 個目のセル(以下、セル x) を複数のノードが観測する確率を考える。電池容量が十分に大きい場合、この確率はセル x の観測を行うノードが 1 台、または 0 台である確率を 1 から減じた値である。時刻 t に各ノードがセル x に存在している確率は、

$$S(t, x) = {}_t C_x P_m^x (1 - P_m)^{t-x} \quad (4)$$

である。また、電池切れによる動作停止が起きる場合、各ノードがセル x に存在する確率を $S_e(t, x)$ とすると、

$$S_e(t, x) = S(t, x) \{1 - {}_t C_{t_e} P_w^{t_e} (1 - P_w)^{t-t_e}\} \quad (5)$$

と表すことができる。以上より、時刻 t までにセル x の観測を行うノードが n 台である確率 $X(t, x, n)$ は、

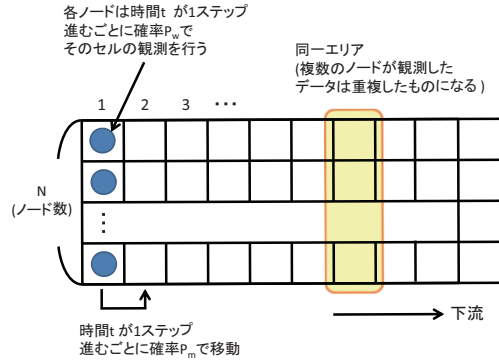


図 3: 流れるセンサネットワークのモデル

$$X(t, x, n) = {}_N C_n \left(\sum_{i=1}^t S(i, x) O(i) \right)^n \cdot \left(\sum_{j=1}^t S(j, x) (1 - O(i)) \right)^{N-n} \quad (6)$$

と表すことができる。これより、時刻 t までに回収したデータが重複している確率 $R(t)$ を以下のように導くことができる。

$$R(t) = 1 - \sum_{x=1}^t (X(t, x, 1) + X(t, x, 0)) \quad (7)$$

時刻 t までのノードの最大移動距離 $D(t)$ は、毎ステップ進んだ場合を考えると、 $D(t) = t$ となる。以上の結果から、時刻 t におけるデータの回収率 $C(t)$ を以下の式で表すことができる。

$$C(t) = \begin{cases} I(t)(1 - R(t))/D(t) & (t < t_e) \\ I_e(t)(1 - R(t))/D(t) & (t \geq t_e) \end{cases} \quad (8)$$

式 (1)、式 (2)、式 (4)、式 (7)、式 (8) より、水流の影響を考慮した移動率が $P_m < 1$ であり、故障率 P_b の値が大きいことような場合には、データ回収率が低下することが分かる。

4 まとめ

本論文では、水流上のセンサネットワークの動作を一次元セルオートマトンによってモデル化し、ノードがランダムに起動する場合のデータ回収率の定式化を行った。今後はシミュレーションも使用して、異なる条件でのデータ回収率の評価を行っていくとともに、適切なノードと AP 間の通信制御方法について検討を行う予定である。

謝辞

本研究は科学研究費補助金挑戦的萌芽研究 (22650011) 「自律的移動困難な移動センサネットワークのための通信スケジューリング方式の開発」の助成による。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- [1] 石原 進: 間欠通信を行う流れるセンサ群からの情報収集に関する一考察, 情報処理学会研究報告, モバイルコンピューティングとユビキタス通信, Vol.2010-MBL-56, No.22, pp.1-7 (2010) .