

カオスのパルス結合ニューラルネットワークによる 同期型センサ情報収集機構とその評価

中野 秀洋[†] 宇谷 明秀[‡] 宮内 新[†] 山本 尚生[‡]

武蔵工業大学知識工学部情報科学科[†] 武蔵工業大学知識工学部情報ネットワーク工学科[‡]

〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1

Email: nakano@ic.cs.musashi-tech.ac.jp

1. はじめに

無線センサネットワーク (WSN) では、バッテリー容量などのリソースに制約のある小型軽量で低機能なセンサノードを観測エリアに数多く散布し、アドホックにネットワークを形成して定期的に各ノードのセンサ情報を収集する。このようなセンサノードの特徴及び利用目的を考慮した場合、情報収集のタイミングに合わせてノード間で同期を取ってシンクへセンサ情報を転送する同期型の情報収集機構が有効である[1]。本研究では、カオスのパルス結合ニューラルネットワーク (Chaotic Pulse-Coupled Neural Network; CPCNN, [2][3]) による同期型センサ情報収集機構を提案する。シミュレーション実験においては既往の同期機構と比較する。

2. CPCNN による同期型センサ情報収集機構

まず、 N 個のセンサ端末 S_i ($i=1, \dots, N$) からなる WSN を考える。各センサ端末 S_i はそれぞれ 2 つの内部状態 x_i, y_i をもつ。 S_i の内部状態は、 S_i 自身とその近傍のセンサ端末 S_j がともに発火していないとき、次式のように変化する。

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_i(t) \\ y_i(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta & \omega \\ -\omega & \Delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i(t) \\ y_i(t) \end{bmatrix}$$

ただし、 Δ, ω はそれぞれダンピング、自走周波数を表すパラメータである。センサ端末 S_i の内部状態 x_i がしきい値 1 に達すると、 S_i は発火し、内部状態 x_i, y_i は次式のように瞬時に変化する。

$$\begin{bmatrix} x_i(t) \\ y_i(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q \\ y_i(t) - p(x_i(t) - q) \end{bmatrix}$$

ただし、 p, q はそれぞれ発火による y_i の変化量、発火により変化する x_i の基準状態を表すパラメータである。また、センサ端末 S_i の近傍のセンサ端末 S_j が発火したとき、 S_j は刺激信号を S_i に発信する。 S_i がこの刺激信号を受信して刺激を受けると、 S_i の内部状態 x_i, y_i は次式のように瞬時に変化する。

$$\begin{bmatrix} x_i(t) \\ y_i(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ y_i(t) - p(x_i(t) - a) \end{bmatrix}$$

ただし、 a は刺激信号により変化する x_i の基準状態を表すパラメータである。 S_j は自身が発火するよりもオフセット δ だけ早く刺激信号を送信する。

センサ端末 S_i は情報を収集する基地局からの距離によって特徴づけられるレベル l_i をもつ。 S_i は近傍のセンサ端末 S_j から刺激信号とともに S_j がもつレベル l_j を受信する。 $l_j < l_i$ であるとき、 S_i は刺激を受け、自身ももつレベルを $l_i = l_j + 1$ に更新する。一方、 $l_j \geq l_i$ であるときは、 S_i は S_j からの刺激信号を無視する。このようなオフセットを考慮した結合によって同期が達成されると、レベルの大きいセンサ端末はレベルの小さいセンサ端末の情報発信に先立ってセンサ情報を発信することができ、情報を収集する BS から遠いセンサ端末より、順次センサ信号を送受信することができる。

A synchronous gathering scheme using chaotic pulse-coupled neural networks and its evaluation.

[†]Hidehiro Nakano and Arata Miyauchi are with the Dept. Information Science, Musashi Institute of Technology.

[‡]Akihide Utani and Hisao Yamamoto are with the Dept. Information Network Engineering, Musashi Institute of Technology.

3. 数値実験

文献[1]のモデルを既往モデルとし、提案モデルとの比較を行うために数値実験を行った。図1に示されるように、基地局(図中の BS)を中心とした同心円上に 100 個のセンサ端末をランダムに配置した WSN を対象にシミュレーションを行った。WSN に関する種々の条件は文献[1]と同様に設定した。提案モデルのパラメータは以下のように固定した。

$$\Delta = 0.05, \omega = 5, p = 1, \delta = 0.2, a = 1$$

基準状態のパラメータ q をいくつかの値に設定し典型的なシミュレーション結果を示す。

図2に十分時間が経過した後における、各センサ端末の発火時刻の系列を示す。図の横軸は時刻であり、縦軸はセンサ端末の番号である。図中の実線は各センサ端末の発火時刻を表す。 $q = -0.2$ のとき、既往モデルと同様に、各センサ端末は自身もつレベルに応じて同期していることがわかる。ただし、既往モデルは発火時刻の系列が周期的であるのに対して、提案モデルは発火時刻の系列がカオス的であることがわかる。一方、 $q = 0.6$ のときは、それぞれのセンサ端末の発火時刻の系列は非同期的である。ただし、各センサ端末は自身もつレベルに応じて空間に対して局所的に、時間に対して間欠的に同期していることがわかる。各センサ端末がセンサ情報を送信すると仮定し、同期がとれなかったことによる平均送信ミス率を計算したところ、 $q = 0.6$ のときの平均送信ミス率は約 15% であった。各センサ端末が BS に情報を送信する経路は複数存在しうる。従って、BS からの距離や近傍のセンサ端末数に応じて、パラメータを適切に設定することができれば、個々のセンサ端末同士で送信ミスが起きたとしても、各センサ端末から BS までセンサ情報を転送することを確率的に保証することができる。

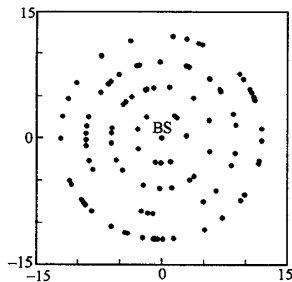
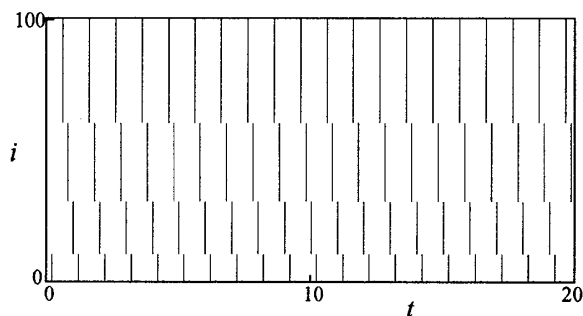


図1 無線センサネットワークモデル

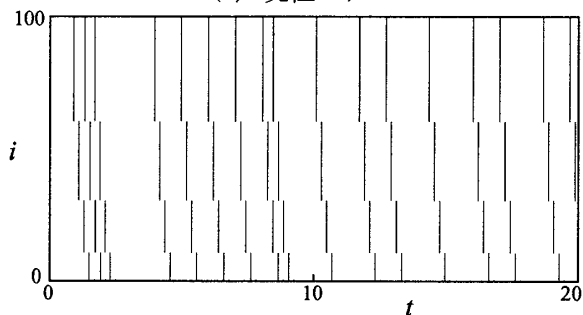
以上のような同期・非同期機構を構築できれば、複数経路からの同一情報の転送を緩和することができると考えられる。センサ情報の送受信に関係しないセンサ端末の電源を切ることによって、既往モデルよりも WSN の長寿命化を図ることができ、長期間の観測などが可能となる。今後は、より詳細な解析を行い、センサ情報の転送成功率や WSN の電源効率などに関する評価を行っていく。

参考文献

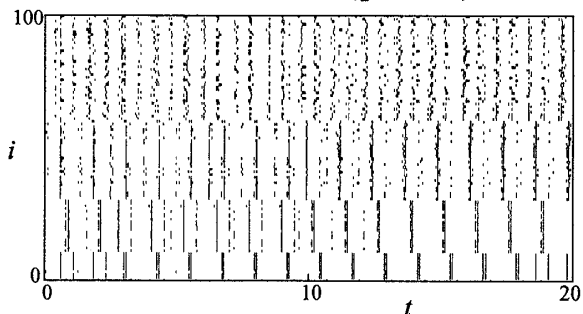
- [1] N. Wakamiya and M. Murata, IEICE Trans. Comm., vol. E88-B, no. 3, pp. 873-881, 2005.
- [2] H. Nakano and T. Saito, IEEE Trans. Neural Networks, vol. 13, no. 1, pp. 92-100, 2002.
- [3] H. Nakano and T. Saito, IEEE Trans. Neural Networks, vol. 15, no. 5, pp. 10180-1026, 2004.



(a) 既往モデル



(b) 提案モデル ($q = -0.2$)



(c) 提案モデル ($q = 0.6$)

図2 シミュレーション結果