有限オートマトンに従う想起をする連想記憶モデル

Associative Memory Model with Retrieval Based on Finite Automaton

川村 正樹 (P)

Masaki Kawamura (P)

山口大学大学院理工学研究科 kawamura@sci.yamaguchi-u.ac.jp

Abstract— Our brain handles symbols using neural distributed representation. An associative memory model which can describe finite automata (FA) is proposed. In order to describe FA, control possibility of state transitions is required. Therefore, common external inputs, which corresponds to input symbol of FA, are introduced into the model. By computer simulations, we show that the proposed model has ability to describe FA.

Keywords— **associative memory model, common input, finite automaton (FA), input symbol**

1 はじめに

脳では，多数のニューロンの発火パターンによる分散表現で情報が表されている．一方で，脳は言語などの記号情報も処理している．すなわち，パターンによる分散表現を用いながら，記号処理を行っている．例えば，ジュウシマツの歌声は文法にしたがって歌われている [1]．有限オートマトン (FA) は最も基本的な正規文法を表すことができる．従って，脳型の情報処理機構を知るためには，どのようにニューラルネットワークで FA を表現すればよいかを検討しなければならない．

連想記憶モデルで有限オートマトンを表現する場合，状態遷移に含まれる分岐を処理できなければ，正規文法を表現することができない．1 対多の連想処理を扱える連想記憶モデル [2, 3] では，文脈情報に相当するバイアス入力が必要である．バイアス入力は次の想起パターンに相関がある．また，自己＋系列想起モデル [4] では，外部入力として，共通入力を導入している．共通入力とは，全てのニューロンに等しく入力される外部からの入力である．共通入力によって，記憶パターンに対応するアトラクタ間を状態遷移することができる．小鳥がうたうとき，歌要素の始まりに共通の入力が入ることが実験的に示されている [5] ことからも，共通入力が妥当であることがわかる．また，共通入力による状態遷移の制御は，FA を表現するために必要な機能である．

本研究では，分岐を含む想起だけではなく，FA を表現できる連想記憶モデルを提案する．バイアス入力は用いずに，共通入力のみで遷移ができることを示す．

2 連想記憶モデル

N 個のニューロン x_i からなる連想記憶モデルを考える．各ニューロン x_i は ± 1 の値をとる．シナプス結合 J_{ij} は p 個の記憶パターン $\boldsymbol{\xi}^\mu = (\xi_1^\mu, \xi_2^\mu, \cdots, \xi_N^\mu)^T, \mu = 1, 2, \cdots, p$ の関連を記憶している．記憶パターンの各要素 ξ_i^μ は ± 1 の値を確率

$$\mathrm{Prob}[\xi_i^\mu = \pm 1] = \frac{1}{2}, \tag{1}$$

でとる．一般的に，1 対多の連想や分岐を含む系列のパターンを記憶する場合，シナプス結合 J_{ij} は,

$$J_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{\mu=1}^{p} \sum_{\nu=1}^{p} \xi_i^\mu A_{\mu\nu} \xi_j^\nu, \tag{2}$$

で与えられる．ここで，行列 $A_{\mu\nu}$ は記憶パターン $\boldsymbol{\xi}^\nu$ から記憶パターン $\boldsymbol{\xi}^\mu$ への結合の強さを表す行列であり，FA の状態遷移関数に対応させることができる．この行列 $A_{\mu\nu}$ の値を変えるだけで自己想起モデルや系列想起モデルをはじめ，FA の状態遷移を記述することができる．

時刻 t におけるニューロンの状態 x_i^t は，動作方程式

$$x_i^{t+1} = \mathrm{sgn}\left(\sum_{j=1}^{N} J_{ij} x_j^t + \zeta_i^t + \eta^t \right), \tag{3}$$

により，同期的に更新される．ただし，ζ_i^t は各ニューロンに独立に作用する独立ノイズであり，ガウス分布 $\mathcal{N}(0, \sigma^2)$ に従うとする．η^t は全てのニューロンに共通に作用する共通入力である [4]．時刻 t におけるニューロンの状態 $\boldsymbol{x}^t$ と記憶パターン $\boldsymbol{\xi}^\mu$ とのオーバラップを

$$m_t^\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \xi_i^\mu x_i^t, \tag{4}$$

と定義する．$m_t^\mu > 0$ のとき，$\boldsymbol{\xi}^\mu$ が想起されている．

3 有限オートマトンとの対応

有限オートマトンの要素を連想記憶モデルに対応付けてみよう．認識機械として働く有限オートマトン $M = (S, \Sigma, \delta, s_0, F)$ を考える．S は状態の集合である．状態 $s_\mu \in S$ を記憶パターン $\boldsymbol{\xi}^\mu$ で表現する．$s_0 \in S$ は初期状態であり，対応する記憶パターンを連想記憶モデルの初期状態として与える．$F \subseteq S$ は最終状態の集合であ

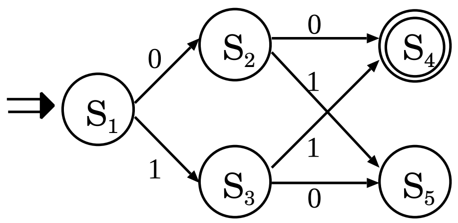

図 1: Finite automaton M

る．Σ は入力記号の有限集合であり，$\Sigma \in \{0,1\}$ の 2 値とする．Σ は外部からの入力なので，共通入力に対応させる．δ は状態遷移関数である．入力記号 λ があったときに，状態 s_ν から状態 s_μ への遷移 $s_\nu \xrightarrow{\lambda} s_\mu$ を表すので，δ は記憶パターン $\boldsymbol{\xi}^\nu$ から記憶パターン $\boldsymbol{\xi}^\mu$ への想起 $\boldsymbol{\xi}^\nu \to \boldsymbol{\xi}^\mu$ に対応する．

入力記号が $\Sigma = \{0,1\}$ の場合，ニューロンを 2 つのグループ $G^0 = \left\{i|1 \le i \le \frac{N}{2}\right\}$, $G^1 = \left\{i|\frac{N}{2} < i \le N\right\}$ に分割する．入力記号 $\lambda = 0,1$ によって遷移する系列を行列 $A^\lambda_{\mu\nu}$ で表す．状態 s_ν から s_μ へ遷移 $s_\nu \xrightarrow{\lambda} s_\mu$ する場合，行列 $A^\lambda_{\mu\nu}$ の要素は，対応する記憶パターン $\boldsymbol{\xi}^\nu, \boldsymbol{\xi}^\mu$ を用いて，

$$A^\lambda_{\mu\nu} = \begin{cases} 1, & \text{if } \mu = \nu \\ \varepsilon, & \text{if } \mu \neq \nu\ ,\ \boldsymbol{\xi}^\nu \xrightarrow{\lambda} \boldsymbol{\xi}^\mu \\ 0, & \text{if } \mu \neq \nu\ ,\ \boldsymbol{\xi}^\nu \overset{\lambda}{\not\to} \boldsymbol{\xi}^\mu \end{cases}, \tag{5}$$

で与えられる．このとき，シナプス結合 J_{ij} はグループ毎に定義され，

$$J_{ij} = \frac{1}{N}\sum_{\mu=1}^{p}\sum_{\nu=1}^{p} \xi_i^\mu A^\lambda_{\mu\nu} \xi_j^\nu\ ,\ \ i \in G^\lambda \tag{6}$$

で与えられる．ただし，$A^0_{\mu\nu}$ と $A^1_{\mu\nu}$ のどちらにも，必ず自己想起の場合（$\mu = \nu$）を含んでいる．したがって，別々のネットワークがあるのではなく，1 つのネットワークで構成されており，さらに，シナプス結合数は増えていないことに注意する．

共通入力もグループ毎に $\eta^t_\lambda, i \in G_\lambda$ を用意する．経験的に，次の η^t_0 と η^t_1 を用いれば，状態遷移ができることを発見している．入力記号 $'0'$ が入力された場合，

$$\eta^t_0 = \begin{cases} 1.0 & ,\ t \bmod 50 = 10 \\ 0.5 & ,\ t \bmod 50 = 11 \\ 0.0 & ,\ \text{otherwise} \end{cases}, \tag{7}$$

$$\eta^t_1 = \begin{cases} 1.0, & 10 \le t \bmod 50 \le 11 \\ 0.0, & \text{otherwise} \end{cases}, \tag{8}$$

とする．入力記号 $'1'$ が入力された場合はこの逆である．

4 計算機シミュレーション

提案したモデルを用いて，図 1 の有限オートマトン M を記憶させた．状態数は $p = 5$ であり，その他のパラメータの値は，$\varepsilon = 0.2$, $\sigma = 0.1$ として計算機シミュレーションを行った．図 2 は入力記号列 $''00''$ を入力した場合のオーバラップ m^μ_t の時間発展である．図中の数字は想起された記憶パターンの番号，すなわち，FA の状態番号を表す．共通入力が入力されると，図 1 に従いそれぞれ次の状態へ遷移していることがわかる．遷移の成功率は非常に高く，安定的に遷移が行えることがわかった．

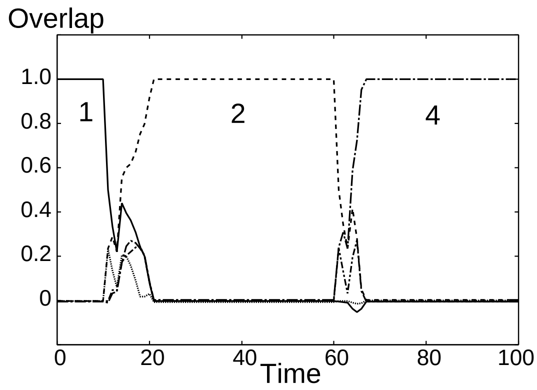

図 2: Time evolution of overlaps in case of storing M.

5 まとめ

脳の情報処理能力を調べるためには，有限オートマトン (FA) を表現することから始めることができる．本研究では，FA を表現する新たな連想記憶モデルを提案した．FA の入力記号を複数の共通入力で表現し，入力記号に応じた状態遷移を別々のシナプス結合に記憶することにより，所望の状態へ遷移させることが可能となった．Katahira らのモデル [3] で導入されているバイアス入力を必要とせずに，分岐を制御できる点が提案モデルの特徴である．提案モデルによって，自己想起や系列想起をはじめ，FA まで想起できることを示した．

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金 (若手研究 (B) 16700210) によるものである．本研究では山口大学計算機クラスターシステムを利用した．

参考文献

[1] K. Okanoya (2004) Ann. N.Y. Acad. Sci., **1016**: 724-735.

[2] M. Kawamura, M. Okada, and Y. Hirai (1999) IEEE Trans. Neural Netw., **10** (3): 704-713.

[3] K. Katahira, M. Kawamura, K. Okanoya, and M. Okada (2007) J. Phys. Soc. Jpn., **76** (4): 044804.

[4] M. Kawamura, and M. Okada (2006) J. Phys. Soc. Jpn., **75** (12): 124603.

[5] M. F. Schmidt (2003) J. Neurophysiol., **90**: 3931.