

知識の更新と忘却機構に関する検討

6C-2

浅見 徹 黒岩 眞吾 丸田 浩二 橋本 和夫
国際電信電話株式会社研究所

1 はじめに

本稿は、基本的に無限集合である記憶対象を有限の記憶機構で記憶する過程を扱う。提示する記憶機構は、(1) 確率的な忘却機構を持つスタックであり、記憶及び消去といったメモリオペレーションをプログラム制御外に位置づけることにより、無限集合から有為な情報を記憶するといった場合に有効である。(2) この記憶機構 (Chronologically Ordered pseudo-Stack Memory Organization) と人間の記憶機構に関する従来の心理学上の実験データとの親和性は、非常に良い。(3) 最後にプロダクションシステムのメモリとして使用した場合の従来システムとの相違点を示す。

2 モデルの定義

このモデル [1] では以下の記憶構造を仮定する。(1) 記憶構造は有限長のスタックとする。(2) 書き込まれたデータは時間的順序にしたがって、プッシュダウンされ、最も新しい書き込みデータがトップにある。(3) 新しいデータを書き込む時 (記憶更新時) には、忘却確率 ρ に従って以前スタックに書き込まれたデータを消去し、トップから消去位置まで、順次、データをプッシュダウンした後新データをトップに書き込む。その際、忘却確率 ρ の更新が付随して行なわれる。(4) スタック上のデータ D を読むとき、データ D の移動はせず、忘却確率 ρ の更新だけを行なう。(5) 忘却確率 ρ は現在時刻と、データ D の書き込みあるいは読み出しが行なわれた時刻との差の関数とする。(6) データの明示的な消去はできない、即ちデータは確率的に消されるまでメモリ内に常駐する。心理学上の短期記憶に該当する部分の長さを S 、長期記憶の長さを L とし、それぞれの忘却確率を ρ および δ で表わした場合のメモリ構造を図 1 に示す。

3 モデルの記憶特性

データ D が書き込まれた後、 m 個のデータ書き込みが生じ、この間データ D がアクセスされなかったとすると、仮説 (4) の影響を無視できるため忘却確率 ρ はデータ D のスタック上の位置 i のみの関数になる。従って、このような静的な記憶特性に関しては解析的に求めることができる。データ D がスタックの i 番目に位置する確率 $p_m(i)$ は 2 変数の漸化式 1、あるいは 2、3、4 式で与えられる [1]。ここで、5、6 式が制約条件である。 m 回目の記憶更新時にデータ D が忘却 (消去) される確率 $f(m)$ 、 m 回目の記憶更新時までにデータ D が忘却 (消

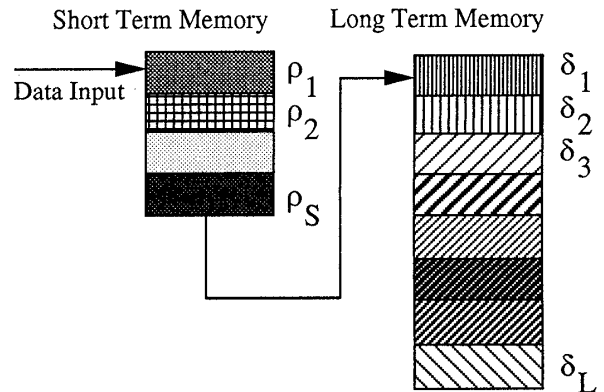


図 1: モデルの記憶構造

去) されてしまう確率 $F(m)$ 及び平均忘却回数 M は、それぞれ 7、8 及び 9 式で求めることができる。また、データ D が無限回の記憶更新時のどこかでスタック上の位置 i まで到達する確率 $R(i)$ は、 $i \geq 3$ のとき漸化式 10 で表すことができるため、一般に 11 式で求めることができる。ここで、 $U = S + L$ 、また $1 \leq i \leq L$ に対して $\rho_{i+S} = \delta_i$ と置いている。

$$p_m(i) = p_{m-1}(i) + p_{m-1}(i-1)(1-Q_i) \quad (1)$$

$$p_m(i) = \prod_{k=1}^{i-1} (1-Q_{k+1}) \sum_{i_1=2}^i Q_{i_1} \sum_{i_2=i_1}^i Q_{i_2} \cdots \sum_{i_{m-i+1}=i_{m-i}}^i Q_{i_{m-i+1}} \quad (2)$$

$$p_m(i) = 0 \quad \text{for } 2 \leq \min(m, U) \text{ and } m \geq 1 \quad (3)$$

$$p_0(1) = 1$$

$$p_0(i) = 0 \text{ for } i \geq 2 \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^U \rho_j = 1 \quad (5)$$

$$Q_k = \sum_{j=1}^{k-1} \rho_j \quad (6)$$

$$f(m) = \sum_{j=1}^U p_{m-1}(j) \rho_j \quad (7)$$

$$F(0) = 0$$

$$F(m) = \sum_{j=1}^m f(j) \text{ for } m \geq 1 \quad (8)$$

$$M = \sum_{m=1}^{\infty} m f(m) \quad (9)$$

$$R(i) = R(i-1)(1-Q_i) \sum_{j=0}^{\infty} Q_{i-1}^j \text{ for } i \geq 3 \quad (10)$$

$$R(i) = 1 - Q_i \text{ for } i \geq 1 \quad (11)$$

ここで、 $\rho_j = \rho = \frac{1}{S}$ ならば

$$f(m) = (1-\rho)^{m-1}\rho \quad (12)$$

$$F(m) = 1 - (1-\rho)^m \quad (13)$$

$$M = S \quad (14)$$

ここで、長期記憶部の忘却確率を 0 とし、短期記憶部の忘却確率に一様分布を仮定すると、 $f(m)$ 、 $F(m)$ 及び M はそれぞれ 12、13 及び 14 で与えられるため、記憶再生率 $1 - F(m)$ は心理学実験において有名なブラウソンの忘却パラダイム [2] と符合する [1]。

ただし、これでは $R(S+1) = 1 - Q_{S+1} = 0$ となるため、短期記憶部から長期記憶部へのデータの移動が生じなくなる。このモデルでは、長期記憶部での情報の忘却 ($\sum_{i=S+1}^M \rho_i > 0$) は、短期記憶部から長期記憶部へデータが移動するための必要十分条件になっている。

次に動的な記憶特性、即ち書き込みだけではなくデータ D の参照も行なわれ、仮説 (4) による忘却確率の更新が行なわれる場合を考えてみる。このとき、 ρ 従って、 Q は位置 i だけでなく、記憶更新 (書き込みと参照) 回数 m の関数でもあるため、データの書き込みと参照が起こる確率過程が分かれば、 m 回の記憶更新後、データ D がスタックの i 番目に位置する確率 $p_m(i)$ は 2 変数の漸化式 15 および 16 を使って計算できる。

$$p_m(i) = p_{m-1}(i) \quad (15)$$

以上読み出しが行なわれたとき。

$$p_m(i) = p_{m-1}(i) + p_{m-1}(i-1)(1-Q_{i,m}) \quad (16)$$

$$Q_{k,m} = \sum_{j=1}^{k-1} \rho_{j,m} \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^U \rho_{j,m} = 1 \quad (18)$$

以上書き込みが行なわれたとき。

4 プロダクションシステムでの利用方法

忘却確率 ρ を、データ D の書き込みあるいは参照が何回前 (T 回前) に行なわれたかで決まるとする。ここで、各データの更新時刻 T は次のように計算する。(i) 仮説 (3) の新データの場合 1、プッシュダウンされたものは以前の T に 1 を加える。(ii) 仮説 (4) の参照データ D の場合 1、参照以前に D より更新が新しかったものには以前の T に 1 を加える。このとき、 $1 \leq T \leq S$ が短期記憶部、 $S+1 \leq T \leq U$ が長期記憶部と考えられる。短期記憶部の上部は、信頼の置ける推論が実行できるためには非常に小さい忘却確率であるべきであるから、忘却確率 ρ は T の単調増加関数、また、長期記憶部に長く留まっているものはデータの更新頻度の少ない安定した

データと考えられるため、長期記憶部における忘却確率 ρ は、 T の単調減少関数とすべきである。その結果、忘却分布は図 2 のようになる。このとき、 $\frac{1}{\rho}$ は、短期記憶

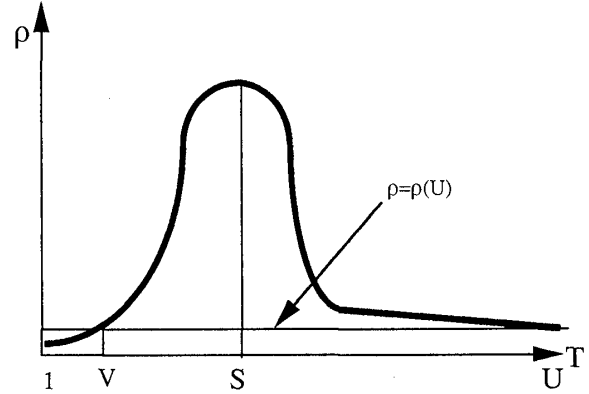


図 2: モデルの忘却分布

部では単調減少、長期記憶部では単調増加関数になる。長期記憶部のデータよりも直前に入力されたデータを尊重すべきであるため、 $\frac{1}{\rho(1)} > \frac{1}{\rho(U)}$ とすべきである。

このメモリを例えば OPS5 系のシステムに適用した場合、競合解消戦略 LEX[3] において、ワーキングメモリエレメントのタイムタグではなく、 $w = \frac{1}{\rho}$ の大きい順で並び換えを行なうようにすれば、単に作成時刻の早い遅いだけでなく、メモリのどこに記憶されているデータかということをも考慮した制御戦略になる。この戦略では、 $T = S$ 周辺の忘却確率の大きい遷移領域に存在するメモリエレメント (データ) のプライオリティを下けている点に特徴がある。これは、 $T = S$ 周辺に存在するデータは何らかの関連するデータ自体が消滅している確率が高いので、直感的に正しい。このとき、競合解消戦略自体を大幅に変更する必要はない。ただし、ワーキングメモリエレメントの消去はできず、そのメモリエレメントの否定形が書き込まれるだけである点が従来の OPS5 系のシステムと異なっている。

5 終わりに

日頃ご指導いただき、KDD 研究所小野所長、浦野次長、及び知能処理研究室の皆様、並びに、本稿をまとめる際に TeX フォーマット作成指導をして頂いた堀田孝男氏に深謝いたします。

参考文献

- [1] 浅見, 松本, 丸田, 橋本, “知識ベース管理における忘却手法の検討”, 情報処理学会第 36 回全国大会, 昭和 63 年 3 月, 4R-3
- [2] Peterson, L.R. & Peterson, M.J., “Short-term retention of individual verbal items”, Journal of Experimental Psychology, 1959, 58, 193-198
- [3] Brownston, L., Farrel, R., Kant, E., and Martin, N., “PROGRAMMING EXPERTSYSTEM IN OPS5, An Introduction to Rule-Based Programming”, Addison-Wesley Publishing Co., Inc., 1985, 62-64