

ニューラルネットワークによる割当問題の解法

3B-10

上久保 浩

黒川 恭一

防衛大学校情報工学教室

1. はじめに

出力値として2値状態をとるバイナリニューロン [1] を用いた相互結合型ニューラルネットワークによる種々の組み合わせ問題の解法が多数提案されている [2]。通信分野においても、交換網におけるパケットの最適な割当を求める問題に対するニューラルネットワークによる解法が文献 [3][4] 等で提案されている。本稿においては、入力バッファとクロスバスイッチよりなるマルチキャストパケット交換システムでの、パケットの最適な割当を求める問題に対するニューラルネットワークによる解法を提案し、その能力を検証する。

2. タイムスロット割当問題

図1に示すような、 N 個の入力ポートから、 N 個の出力ポートへのマルチキャストパケット交換システムを考える。クロスバスイッチは、同時に N 個の入力ポートから互いに異なる N 個の出力ポートへ割り当て可能である。マルチキャストは、1つの入力ポートが入力をバッファリングし、それを最大 N 個の出力ポートへ逐次ユニキャストすることにより実現する。

本稿で扱う問題は、この様な構成において、最小のユニキャスト回数となるスイッチングシーケンスを求めるといものである。これは、 N 個の入力から N 個の出力への任意の転送要求を N 個の中継交換機により時分割で転送するタイムスロット割当問題 [5] と等価となる。但しこの場合、1つの入力から1つの出力へ転送すべきパケット数は、1か0となる。

ここで、入力ポート i から出力ポート j への転送要求を d_{ij} (転送要求があるとき1、無ければ0)とすると、最小のユニキャスト回数(最小タイムスロット数: L)は、 $L = \max\{\sum_{i=1}^N d_{ij}, \sum_{j=1}^N d_{ij}\}$ となる。さらにタイムスロット k における入力ポート i から出力ポート j への転送割当を t_{ijk} (割当があるとき1、無ければ0)とすると、この問題は以下の制約条件を満たす割当 t_{ijk} を求めるとい問題となる。

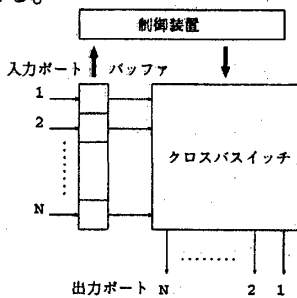


図1:マルチキャストパケット交換システム

$$\sum_{i=1}^N t_{ijk} \leq 1, \quad \sum_{j=1}^N t_{ijk} \leq 1, \quad \sum_{k=1}^L t_{ijk} = d_{ij} \quad (1)$$

この種の問題に対して、逐次的解法が文献 [6] 等で、

Solution of Assignment Problem Using A Binary Neural Network

Hiroshi Kamikubo, Takakazu Kurokawa

Department of Computer Science, National Defense Academy

1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka, Kanagawa 239, Japan

またセルラーオートマトンを使った並列解法が文献 [5] で提案されている。本稿では、ニューラルネットワークを使った並列解法による解の導出の高速化を図った。

3. ニューラルネットワークによる解法

3.1. ニューラルネットワーク表現

本稿で提案する解法では、2.の転送要求 d_{ij} に疑似転送要求 p_{ij} を加えることにより、(1)の制約条件を等式制約に変換した後、この問題に対する割当 x_{ijk} を求める。このようにしても、最小切替え回数 L は変わらず、また、 $t_{ijk} = x_{ijk}d_{ij}$ とすることにより、本来の割当 t_{ijk} を求めることができる。

提案するニューラルネットワークは、図2に示すように2つのグループから構成される。第1グループにより、等式制約条件を満たす転送要求 g_{ij} を求め、第2グループにおいて割当 x_{ijk} を求める。

第1グループは $N \times N$ 個のニューロンからなり、ニューロンの出力 V_{ij}^g が疑似転送要求 p_{ij} を含む新たな転送要求 g_{ij} に対応する。ここで、 $d_{ij} = 1$ に対応するニューロンの出力は $V_{ij}^g = 1$ に固定され全く動作せず、 $d_{ij} = 0$ に対応するもののみが変化することとした。

第2グループは $N \times N \times L$ 個のニューロンからなり、ニューロンの出力 V_{ijk}^x が、タイムスロット k における入力ポート i から出力ポート j への割当の有無に対応する。ここでも、 $g_{ij} = 0$ に対応するニューロンの出力は $V_{ijk}^x = 0$ に固定され全く動作せず、 $g_{ij} = 1$ に対応するもののみが変化することとした。

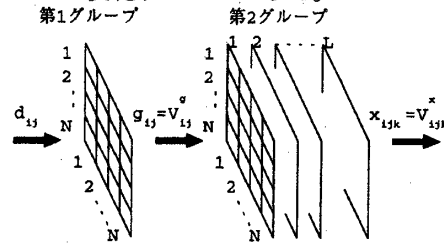


図2:ニューラルネットワークの構成

3.2. 入出力関数及び動作式

本解法においては、バイナリニューロンを用いたが、その入出力関数は以下の様になる。

$$\begin{aligned} \text{第1グループ} & & \text{第2グループ} \\ V_{ij}^g &= \begin{cases} 1 & U_{ij}^g > 0 \\ 0 & U_{ij}^g \leq 0 \end{cases} \quad (2) & V_{ijk}^x = \begin{cases} 1 & U_{ijk}^x > 0 \\ 0 & U_{ijk}^x \leq 0 \end{cases} \quad (3) \end{aligned}$$

また、動作式は以下のようになる。

$$\begin{aligned} \text{第1グループ} & \\ \frac{dU_{ij}^g}{dt} &= -A^g \left\{ \left(\sum_{i=1}^N V_{ij}^g - L \right) + \left(\sum_{j=1}^N V_{ij}^g - L \right) \right\} \\ &+ B^g f \left(L - \sum_{i=1}^N V_{ij}^g \right) + C^g f \left(L - \sum_{j=1}^N V_{ij}^g \right) \quad (4) \end{aligned}$$

第1項は、同一入力ポートからの転送要求の総和もしくは同一出力ポートへの転送要求の総和が L に満たなければ発火、超過していれば未発火にするよう働く。第

2,3項はそれぞれの総和がLに満たない時、発火させる興奮性の項である。

第2グループ

$$\begin{aligned} \frac{dU_{ijk}^x}{dt} = & -A^x \left\{ \left(\sum_{i=1}^N V_{ijk}^x - 1 \right) + \left(\sum_{j=1}^N V_{ijk}^x - 1 \right) \right. \\ & \left. + \left(\sum_{k=1}^N V_{ijk}^x - d_{ij} \right) \right\} + B^x h \left(\sum_{i=1}^N V_{ijk}^x \right) \\ & + C^x h \left(\sum_{j=1}^N V_{ijk}^x \right) + D^x h \left(\sum_{k=1}^N V_{ijk}^x \right) \\ & + E^x h \left(\sum_{i=1}^N V_{ijk}^x + \sum_{j=1}^N V_{ijk}^x + \sum_{k=1}^N V_{ijk}^x \right) \end{aligned} \quad (5)$$

但し、 $f(x) = \begin{cases} 1 & (x > 0) \\ 0 & (x \leq 0) \end{cases}$ $h(x) = \begin{cases} 1 & (x = 0) \\ 0 & (x \neq 0) \end{cases}$

第1項は、各タイムスロットにおいて、1つの入力ポートの割当の総和及び1つの出力ポートへの割当の総和が1未満ならば発火、超過していれば未発火に、また、入力ポート*i*から出力ポート*j*への割当の総和が*d_{ij}*に満たなければ発火、超過していれば未発火にするよう働く。第2,3,4,5項は、それぞれの割当の総和が、個別もしくは全体でゼロの時発火させるよう働く興奮性の項である。

3.3. 並列アルゴリズム

上記のニューラルネットワークのシミュレーションでは、以下のアルゴリズムに従った。ここで、Step1-1~1-9で第1グループの処理を行ない、その結果を受けてStep2-1~2-9で第2グループの処理を行なう。尚、動作式の近似には1次のオイラー法を用いた。

- Step1-1 $t := 0$
- Step1-2 $U_{ij}^g(t)$ を $-U_0 \leq U_{ij}^g(t) \leq 0$ の任意の値に初期化。
- Step1-3 $V_{ij}^g(t)$ を $d_{ij} = 1$ のとき $1, d_{ij} = 0$ のとき 0 に初期化。
- Step1-4 全ての V_{ij}^g に変化が無くなるまで、 $d_{ij} = 0$ に対応するニューロンについて Step1-5~1-8 を繰り返す。
- Step1-5 $t := t + 1$
- Step1-6 $U_{ij}^g(t)$ を式(4)により更新。
- Step1-7 $V_{ij}^g(t)$ を式(2)により更新。
- Step1-8 $t = T_1$ ならば解が求められないものとして中止、さもなければ Step1-5 へ。
- Step1-9 $g_{ij} := V_{ij}^g(t)$
- Step2-1 $t := 0$
- Step2-2 $U_{ijk}^x(t)$ を $-U_0 \leq U_{ijk}^x(t) \leq 0$ の任意の値に初期化。
- Step2-3 $V_{ijk}^x(t) := 0$ に初期化。
- Step2-4 全ての V_{ijk}^x に変化が無くなるまで、 $g_{ij} = 1$ に対応するニューロンについて Step2-5~2-8 を繰り返す。
- Step2-5 $t := t + 1$
- Step2-6 $U_{ijk}^x(t)$ を式(5)により更新。
- Step2-7 $V_{ijk}^x(t)$ を式(3)により更新。
- Step2-8 $t = T_2$ ならば解が求められないものとして中止、さもなければ Step2-5 へ。
- Step2-9 $t_{ijk} := V_{ijk}^x d_{ij}$ とし、終了。

尚、Step1-5~1-8 及び Step2-5~2-8 それぞれを1回の繰り返しとし、第1グループの初期化から第2グループの終了もしくは各グループでの中止までを1回の試行とする。

4. シミュレーション結果

問題サイズ N と、最小タイムスロット数 L が、それぞれ $5 \leq N \leq 40, 2 \leq L \leq 10$ までの問題について、例題をランダムに作成し、上記アルゴリズムに従いシミュレーションを行ない、繰り返し回数を測定した。ここで、動作式の各係数は、 $A^g=1, B^g, C^g, [0, 3]$ の乱数、 $A^x=1, B^x, C^x, D^x, E^x: [0, 3]$ の乱数とし、繰り返しの上限 $T_1=2000, T_2=20000$ とした。図3に全ニューロン数 ($N^2(L+1)$) による全体の繰り返し数の平均の変化を示す。本試行の結果、第1グループの収束に要した繰り返し回数は、全体の1割以下であった。また、図3より、全体の繰り返し回数の平均は全ニューロン数にほぼ比例すると考えられる。

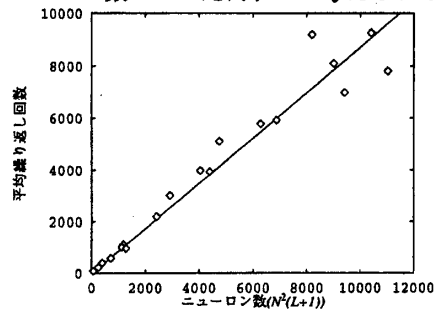


図3:ニューロン数と平均繰り返し回数

5. まとめ

本稿では、入力バッファとクロスバスイッチよりなるマルチキャストパケット交換システムにおいて、最適なスイッチング割当を求める問題に対するバイナリニューラルネットワークによる解法を提案した。

提案した解法では、解への収束に要する繰り返し回数がニューロン数に比例し、計算時間は $O(N^2L)$ になると考えられる。

参考文献

- [1] McCulloch and Pitts: "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", Bulletin of Mathematics and Biophysics, 5(1943).
- [2] Y. Takefuji: "Neural Network Parallel Computing", Kluwer Academic Publishers(1992).
- [3] X. Chen and J.F. Heyes, "Access control in multicast packet switching", IEEE/ACM Trans. Networking, Vol.1, No.6, pp.638-649, Dec.1993.
- [4] 馬場 孝之, 船曳 信生, 西川 清史, "マルチキャストパケット交換方式におけるユニキャスト及びマルチキャスト問題のニューラルネットワーク解法", 信学技法, NC95-85, pp.83-89, Dec.1995.
- [5] C. Rose, "Rapid Optimal Scheduling for Time Multiplex Switches Using a Cellular Automaton", IEEE Trans. Commun, Vol.COM-37, No.5, pp.500-509, May 1989.
- [6] W. Chen and H. Liu, "An Adaptive Scheduling Algorithm for TDM Switching Systems", IEEE Trans. Commun. Vol.COM-43, No.2/3/4, pp.651-658, FEB./MAR./APR.1995.