

# 基于 ATM 交换结构的 Hopfield 神经网络调度算法

申金媛<sup>1</sup>, 李现国<sup>1</sup>, 范怀玉<sup>1</sup>, 熊涛<sup>2</sup>, 常胜江<sup>2</sup>, 张延焯<sup>2</sup>

(1. 郑州大学信息工程学院, 郑州 450052; 2. 南开大学现代光学研究所光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300071)

**摘要:** 针对 ATM 交换结构, 采用输入缓冲和每条入线在同一个时隙内可传送多于一个信元的策略, 利用神经网络具有的实时性、高度并行处理能力和易于电路或光电技术实现等特点, 提出了一种 Hopfield 神经网络调度算法。实验仿真比较表明, 该方法不但大大提高了吞吐率, 消除了队头阻塞造成的性能恶化, 而且降低了信元丢失率和较大程度地降低了平均信元时延, 提高了 ATM 交换结构的性能, 实现了信元的优化调度。

**关键词:** Hopfield 神经网络; 信元优化调度; ATM 交换结构; 多重队列

## Cell Schedule Algorithm Based on Hopfield Neural Network Model for ATM Switching Fabrics

SHEN Jinyuan<sup>1</sup>, LI Xianguo<sup>1</sup>, FAN Huaiyu<sup>1</sup>, XIONG Tao<sup>2</sup>, CHANG Shengjiang<sup>2</sup>, ZHANG Yanxin<sup>2</sup>

(1. College of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052;

2. Key Laboratory of Opto-electronics Information Technical Science, CME, Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071)

**【Abstract】** The asynchronous transfer mode (ATM) is the choice of transport mode for broadband integrated service digital networks (B-ISDN's). It represents the future development of networks and communication technique. A cell schedule algorithm based on Hopfield neural network (HNN) model for ATM switching fabrics (ASF) is proposed in this paper. A new energy function of HNN is employed based on dedicated input buffered cooperating with the policy of more than one cell transferred in each input line during every time slot. Experimental simulation results show that, compared with the method presented in reference 6, the approach not only improves greatly the throughput and eliminates the performance reduction due to the head of line blocking (HOL blocking), but also lowers down the cell loss probability and reduces the average latency, i.e. the performances of ASF are quite improved. It means that the optimization scheduling of the cell can be efficiently implemented by the cell schedule algorithm.

**【Key words】** Hopfield neural network; Cell optimization schedule; ATM switching fabric; Multiple input queues

随着社会信息化程度的提高, 网络需要传输的信息量急剧增多, 对网络的带宽要求越来越高, 使得交换系统成为高速宽带网络发展的瓶颈, 因此提高通信网络交换系统的性能有着极其重要的意义。ATM(asynchronous transfer mode)交换技术代表了网络和通信技术发展的未来方向<sup>[1]</sup>, 作为其关键技术的ATM交换结构(ATM Switching Fabric, ASF)及其调度算法成为近年来人们的研究热点。目前, 输入排队的ASF在ATM交换机中得到广泛的使用, 其调度算法引起了越来越多人的研究兴趣<sup>[2-8]</sup>。传统的先入先出(first in first out, FIFO)控制方法存在队头阻塞(Head of Line blocking, HOL blocking)的现象, 其吞吐率(Throughput)、信元丢失率(Cell Loss Probability)和平均信元时延(Average Latency)等性能较差, 为了克服这个问题, 文献[2-8]提出了开窗策略、加速算法、多重队列方法、输入扩展等改进方法。这些方法一定程度上都减小了队头阻塞, 提高了吞吐率, 但依然存在一些缺点, 如平均信元时延比较大、实现结构复杂或不能实时实现等。

本文针对ASF, 采用输入缓冲和每条入线在同一个时隙内可传送多于一个信元的策略<sup>[5,7]</sup>, 并利用神经网络具有的实时性、高度并行处理能力<sup>[9,10]</sup>和易于电路<sup>[3]</sup>或光电技术<sup>[11]</sup>实现等特点, 提出了一种神经网络调度算法, 通过提出一个新的能量函数, 利用Hopfield神经网络(HNN)实现了信元的优化

排程控制。

计算机仿真模拟表明该方法不仅有效地消除了队头阻塞的缺点, 提高了吞吐率, 减低了信元丢失率, 而且较大程度降低了平均信元时延, 特别是在输入队列数  $S$  比较小时, 各性能参数有较大的改善。

### 1 多重队列 ATM 信元调度的交换结构模型

#### 1.1 交换结构模型

我们所提出的 HNN 控制的多重队列交换结构如图 1 所示, 将每条入线在进入交换结构之前按照不同的输出地址扩展成  $S$  个缓冲器队列, 即每条输入线都有  $S$  个输入队列。这样每条输入线可有  $S$  个信元参与出线竞争, 即在每个时隙中可从  $N \times S$  个 HOL 信元中选择最多为  $N$  个不同目的出线的信元。

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60277022); 河南省杰出青年基金资助项目(512000400); 河南省高等学校创新人才培养工程资助项目

**作者简介:** 申金媛(1966 - ), 女, 教授, 主研方向: 人工神经网络与模式识别, 光电信息处理; 李现国、范怀玉、熊涛, 硕士; 常胜江、张延焯, 教授

**收稿日期:** 2006-03-15 **E-mail:** jyshen@zzu.edu.cn

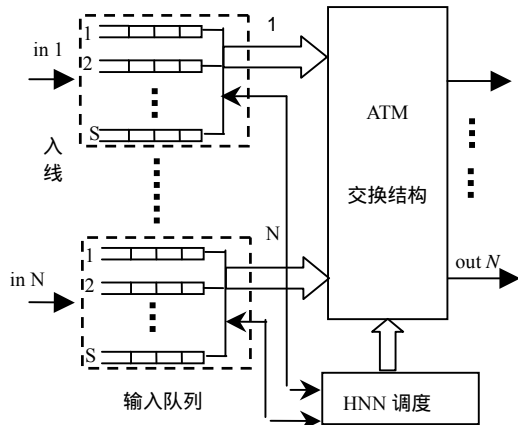


图1 HNN 控制的多重队列的 ATM 交换结构

本文分别对输入队列数为 4 和 8 时  $8 \times 8$  的交换结构进行模拟分析, 具体扩展方法为: 输入队列数为 4 时, 具有相邻两个目的地址的信元放置到同一输入队列, 如地址为 1、2 的信元放置到第 1 个队列, 地址为 3、4 的信元放置到第 2 个队列; 输入队列数为 8 时, 每个不同的地址都对应不同的输入队列。根据入线、出线特点和所采用的缓冲策略, 提出一种新的能量函数, 然后通过 HNN 神经网络的迭代收敛从输入信元中选择输出信元, 实现信元的优化调度。由于所采用的缓冲策略可以使每条入线在同一个时隙内传送多于一个的信元, 因此可以得到很高的吞吐量、低的信元丢失率和短的信元时延, 特别是在输入队列数  $S$  比较小时, 对信元的选择影响很大, 即当输入队列数  $S$  比较小时, ASF 性能提高的程度更明显。

### 1.2 HNN 的调度原则

为使每个时隙有尽量多的传输信元, HNN 的调度原则如下: (1)同一输出线至多能接收一个信元; (2)同一输入线中有相同目的地址的信元必须按照先后次序调度; (3)在选出的信元集中, 应使高优先级的信元数最大化; (4)有足够的选择机会时, 尽量减少同一输入线传送的信元多于 1 个的机会。

由于按照地址扩展到缓冲区, 因此调度原则(2)在进行输入扩展时就能够满足。对于调度原则(3), 采用了长队列高优先级(Longer-Queue High-Priority, LQHP)的策略, LQHP 有两种优先级, 当队列长度长于所有队列的平均长度时, 该队列的信元就被赋予高优先级, 在同样的条件下, 交换系统应优先传送高优先级的信元。对于调度原则(4), 虽然允许同一输入线在同一时隙传送多于一个信元, 但是, 当有足够的选择余地时, 要尽量减少同一输入线传送的信元数多于 1 个的机会。调度原则(3)、原则(4)的引入可以自适应地提高缓冲器的利用率, 进一步提高交换系统的性能, 而且这样可以提高算法的收敛速度。

### 1.3 连续型 HNN 模型的实现

连续型 HNN 模型动态方程和能量函数分别表示为

$$\frac{dU_i}{dt} = \sum_{j=1}^N T_{ij} \cdot V_j - \frac{U_i}{\tau} + I_i = -\frac{U_i}{\tau} - \frac{\partial E}{\partial V_i} \quad (1)$$

$$E = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N T_{ij} V_i V_j - \sum_{i=1}^N I_i V_i \quad (2)$$

$$V_i = \frac{1}{1 + \exp(-gU_i)} \quad (3)$$

其中,  $\tau$  为电路的时间常数,  $g$  是增益系数。

使用的 HNN 由  $N \times S$  个神经元组成,  $N$  对应交换结构的

入线数,  $S$  对应输入队列数,  $(i, j)$  表示第  $i$  条输入线、第  $j$  个输入队列对应的神经元。每个神经元对应于每个队列的队首信元, 满足了同一输入线具有相同的输出地址的信元按照先后顺序输出(前面的调度原则(2))。

能量函数可以根据 1.2 节中提到的调度原则确定为

$$E = \frac{A}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^S \sum_{p=1}^N \sum_{q=1}^S H_{ij,pq} V_{ij} V_{pq}^2 - B \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^S P(L_{ij}) V_{ij} + C \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^S V_{ij} (1 - V_{ij}) + \frac{D}{2} \times T \times \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^S \left( I_{ij} - \sum_{q=1}^S V_{iq} \right) \quad (4)$$

式(4)中第 1 项表示同一条输出线不能同时接收一个以上的信元。 $H$  为连接矩阵, 其规模为  $(N \times S) \times (N \times S)$ , 矩阵元  $H_{ij,pq}$  代表在神经元  $(i, j)$  和  $(p, q)$  间的互连权重。若信元  $ij$  和信元  $pq$  有相同的目的地地址, 矩阵元  $H_{ij,pq}$  为 1, 否则为 0。在每个时隙中, 矩阵  $H$  由各队列的队首信元的目的地地址构成。只有当选中的信元没有阻塞时, 此项最小。第 2 项表示优先级, 当选中的高优先级的信元最多时, 此项最小。其中函数  $P$  根据队列长度  $L_{ij}$  决定优先级, 处在较长队列中的信元具有较高的优先级:

$$P(L_{ij}) = \begin{cases} 1 & \text{if } L_{ij} > \frac{1}{N \times S} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^S L_{ij} \\ 0 & \text{if } L_{ij} = \frac{1}{N \times S} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^S L_{ij} \\ -1 & \text{if } L_{ij} < \frac{1}{N \times S} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^S L_{ij} \end{cases} \quad (5)$$

第 3 项是使得神经元最后的输出收敛到 1 或 0。第 4 项表示尽量减少同一输入线传送的信元多于 1 个的机会, 其中,  $T = 1/5 \times it^2$ ,  $it$  表示第  $it$  次训练。加这一项是为了在最初的几次训练中, 可以尽量调整同一输入线的信元, 尽量减少在有足够的选择机会时交换结构从一条输入线传送多个信元的机会。随着训练次数的增大, 这一项趋于 0。

能量函数中后 3 项可以提高缓冲器的利用效率、降低信元时延和减少信元丢失, 并加速 HNN 的收敛。

由式(1)、式(4)可以得到 HNN 的动态方程为

$$\frac{dU_{ij}}{dt} = -\frac{\partial E}{\partial V_{ij}} = -A \sum_{p=1}^N \sum_{q=1}^S H_{ij,pq} V_{pq} + B \times P(L_{ij}) - C(1 - 2V_{ij}) + D \times T \times \left( I_{ij} - \sum_{q=1}^S V_{iq} \right)^2 \quad (6)$$

上面各式中  $U_{ij}$  表示神经元  $(i, j)$  的输入,  $V_{ij}$  表示神经元  $(i, j)$  的输出,  $A, B, C, D, g$  为正常数。

由式(4)和式(6), 容易证明  $dE/dt \leq 0$ , 所以 HNN 总是能够收敛到  $E$  的极小点, 此时神经元的状态直接代表在每一个时隙内传送的一组最优(或接近最优)的无阻塞信元集。

## 2 计算机仿真与性能分析

为了深入分析前面提出的结构和算法的性能, 编写了 C 语言程序对本文所提方法以及性能参数非常好的文献[6]所提的方法进行计算机仿真模拟, 以验证本文所提方法对 ASF 性能的改善效果。这里选取吞吐量、平均信元时延、信元丢失率等作为衡量参数。吞吐量表示平均每个时隙交换系统每条出线所传送的信元数, 最大值为 1; 平均信元时延表示平均每一个信元从到达缓冲区到离开缓冲区的时间; 信元丢失率表示在一个给定的时间里, 没能进入缓冲区(丢失)的信元占所有信元的比率。

仿真中采用均匀业务流模型——信元的输入过程为独立

同分布的Bernoulli过程，其参数为 $p$  ( $p$ 称为信元到达率或入线的负荷)。每一个信元以等概率  $1/N$  分配到任意出线，且连续到达的信元相互独立。HNN的参数取 $A=30$ ,  $B=1$ ,  $C=26$ ,  $D=30$ ,  $g=4$ ,  $N=8$ , 缓冲区大小为 20, 模拟  $10^4$  个时隙产生的信元，计算时舍弃前 1 000 个时隙结果。

图 2 为  $S=4$  时吞吐量、信元丢失率、平均信元时延随到达率  $p$  的变化曲线。图 3 为  $S=8$  时吞吐量、信元丢失率、平均信元时延随到达率  $p$  的变化曲线。

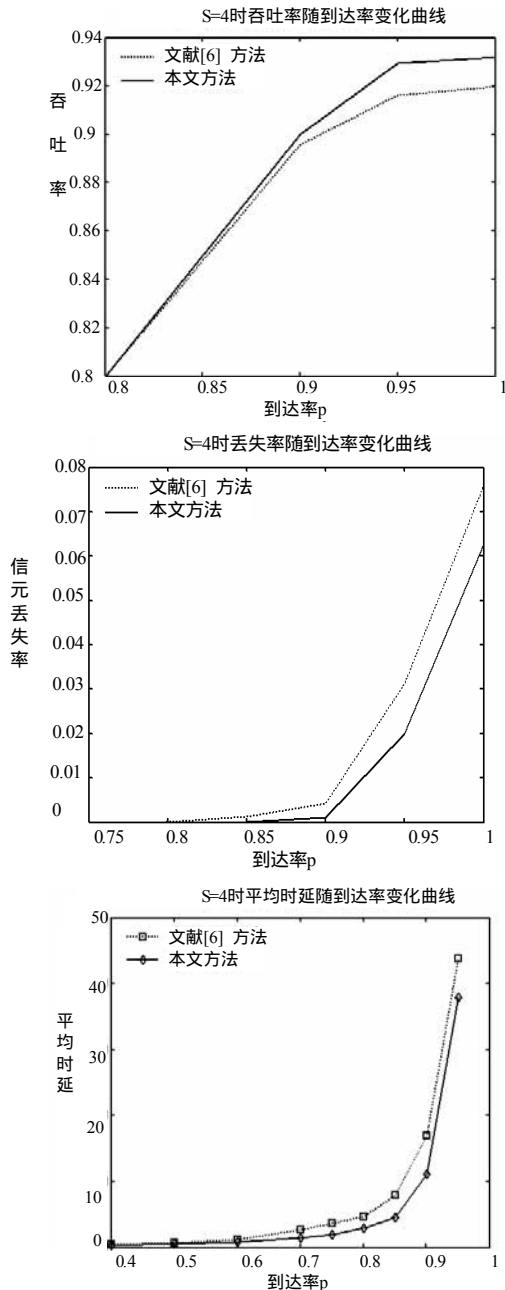


图 2  $S=4$  时性能参数随到达率  $p$  的变化曲线

从图 2、图 3 中可以看出：

(1) 本文所提出的 HNN 调度算法具有吞吐率高(队列数  $S$  为 8 时最大吞吐率达 0.993)、平均信元时延低、丢失率小的优点；

(2) 到达率  $p$  较小时，两种方法基本上一样。这是因为此时两种 ASF 都很少发生信元阻塞现象，可顺利地调度信元。但当  $p$  较大时，本文所提出的调度方法具有更高的吞吐量、更小的信元丢失率和更少的平均信元时延，特别是平均信元

时延，有较大幅度的降低。另外还可以看到不管是  $S$  为 4 还是为 8，平均时延的改善都随着  $p$  的增加而增加。

(3) 无论是吞吐量、信元丢失率还是平均信元时延，在输入队列数  $S$  为 4 时比  $S$  为 8 时改善的程度要高。

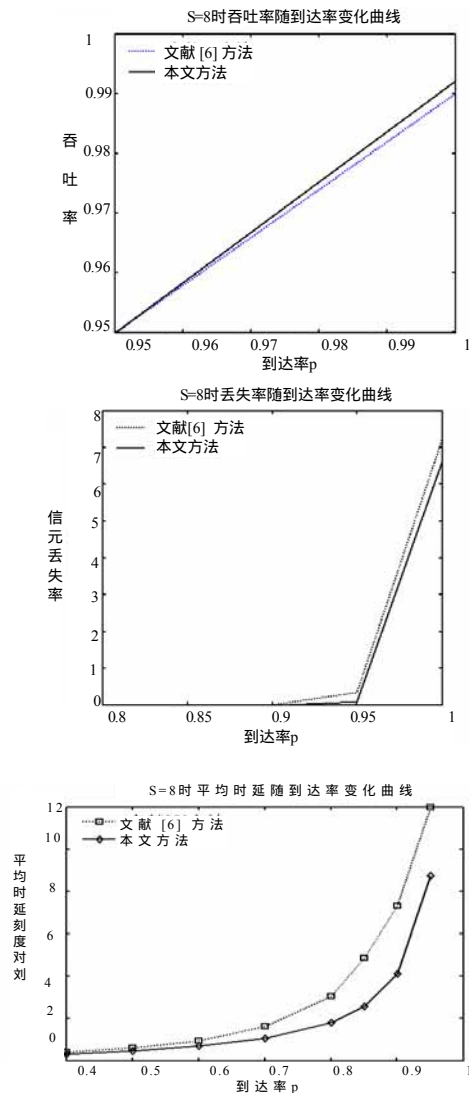


图 3  $S=8$  时性能参数随到达率  $p$  的变化曲线

### 3 结论

吞吐量、平均信元时延、信元丢失率等是衡量 ASF 性能的重要参数。对于多重队列输入缓冲策略方法，本文利用输入扩展方式在一个时隙每条输入线可以传递多于一个信元的特点，通过提出一种新能量函数，利用 HNN 神经网络迭代过程中能量函数下降的特点对信元进行优化调度，实现交换网络的优化排成控制。计算机仿真模拟比较表明，我们所提出的算法提高了吞吐量，减少了信元时延，并减低了信元丢失率，消除了队头(HOL)阻塞造成的性能恶化，特别是在输入队列数  $S$  比较小时，吞吐量、信元丢失率以及平均信元时延都有较大幅度的改善，较大幅度地提高了 ASF 的性能，实现了信元的优化调度。

### 参考文献

- 黎连业, 王安, 向东明. 交换机及其应用技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- 伊鹏, 张兴明, 郭云飞. 基于输入排队的调度算法[J]. 计算机工程, 2003, 29(19): 52.

(下转第 179 页)