

# 时延 PCNN 及其用于求解最短路径

顾晓东<sup>1,2</sup>, 余道衡<sup>2</sup>, 张立明<sup>1</sup>

(1. 复旦大学电子工程系, 上海 200433; 2. 北京大学电子学系视觉与听觉信息处理国家重点实验室, 北京 100871)

**摘 要:** 本文在脉冲耦合神经网络(PCNN-Pulse Coupled Neural Network)的基础上,提出了时延脉冲耦合神经网络(DPCNN-Delay PCNN),并将其成功地用于求解最短路径,同时给出了基于DPCNN的最短路径求解算法。Caulfield与Kinser提出了用PCNN求解迷宫问题的方法,虽然他们的方法也可用于求解最短路径,但所需神经元的数量巨大,而本文的方法所需的神经元的数量远小于他们的方法。同时,本文的方法充分利用了DPCNN脉冲快速并行传播的特点,可迅速地求出最短路径,其所需的计算量仅正比于最短路径的长度,与路径图的复杂程度及路径图中的通路总数无关。计算机仿真结果表明,采用本文的方法,用少量的神经元就可迅速地求出最短路径。

**关键词:** 时延 PCNN; 最短路径; PCNN

**中图分类号:** TP183 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 09-1441-03

## Finding the Shortest Path Based on Delay PCNN

GU Xiao-dong<sup>1,2</sup>, YU Dao-heng<sup>2</sup>, ZHANG Li-ming<sup>1</sup>

(1. Department of Electronic Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China;

2. Department of Electronics, National Laboratory on Machine Perception and Center of Information Science, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** This paper presents DPCNN(Delay Pulse Coupled Neural Network) based on PCNN and uses DPCNN to find the shortest path successfully. Meanwhile, the algorithm of finding the shortest path based on DPCNN is described. Caulfield and Kinser introduced the PCNN method to solve the maze problem and although their method also can be used to find the shortest path, a large quantity of neurons are needed. However, the approach proposed in this paper needed very fewer neurons than proposed by Caulfield and Kinser. In the meantime, due to the pulse parallel transmission characteristic of DPCNN, the approach proposed can find the shortest path quickly. The computational complexity of our approach is only related to the length of the shortest path, and independent to the path graph complexity and the number of existing paths in the graph. The results of computer simulations show that by using the approach proposed in this paper, we can use a small quantity of neurons to find the shortest path quickly.

**Key words:** DPCNN; shortest path; PCNN

## 1 引言

1990年, Eckhorn根据猫的大脑视觉皮层脉冲同步发放现象,提出了展示该现象的联接模型<sup>[1]</sup>。Johnson以Eckhorn的联接模型为基础,给出了脉冲耦合神经网络<sup>[2,3]</sup>(PCNN, Pulse Coupled Neural Network)。PCNN与传统的人工神经网络相比,存在着根本的不同。就目前的研究发现,PCNN可应用于图像处理、决策优化等方面<sup>[3-8]</sup>。

最短路径求解有广阔的应用背景,可用于通信中的路由选择、网页检索、数据压缩、交通管理等方面<sup>[9]</sup>。传统的最短路径求解算法有Dijkstra算法。1999年,Caulfield & Kinser在IEEE Transaction on Neural Networks上提出了用PCNN求解迷宫问题的新方法<sup>[8]</sup>,该方法虽也可迅速地求出最短路径,但所需神经元的数量巨大,图中所有路径的每单位长度均需对应一个神

经元。针对此问题,本文提出了时延脉冲耦合神经网络(DPCNN, Delay PCNN)并将其用于最短路径的求解。本文通过在PCNN神经元中引入时延,提出了DPCNN,解决了Caulfield & Kinser方法中所需神经元数量巨大的问题。举个例子,若节点A、B间的路径长为1000,单位长度为1。采用Caulfield & Kinser方法,需1000个神经元;而采用本文的方法只需对应于节点A、B的2个神经元。神经元数量的减少,使得神经网络易于用硬件实现,而只有用硬件实现,神经网络才能更充分地发挥其快速并行运算的优势。

本文的方法在极大地减少了神经元数量的同时保持了Caulfield & Kinser方法的优点,充分利用了DPCNN从PCNN继承来的脉冲并行传播特性,可迅速地求出最短路径,其所需的计算量仅正比于最短路径的长度,与路径图的复杂程度及路径图中的通路总数无关。

收稿日期:2003-03-14;修回日期:2003-12-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 60171036);国家863计划基金资助项目(No. 2002AA783060);中国博士后基金资助项目(No. 2003034282)

计算机仿真结果表明,采用本文的方法,用少量的神经元可迅速地求出最短路径.本文的第2节将对DPCNN进行简单的介绍.第3节将介绍基于DPCNN的最短路径求解方法.第4节给出了计算机仿真结果.最后为结论和讨论.

## 2 DPCNN模型

我们在PCNN中引入时延,就得到了DPCNN.因此本节先介绍PCNN的模型,接着再介绍DPCNN.

Eckhorn在1990年根据猫的大脑皮层同步脉冲发放现象,提出了展示脉冲发放现象的联接模型<sup>[2]</sup>.在对猴的大脑皮层所进行的实验中,也得到了相似的实验结果.Johnson在联接模型的基础上,提出了PCNN<sup>[2,3]</sup>.图1为单个PCNN神经元的模型.

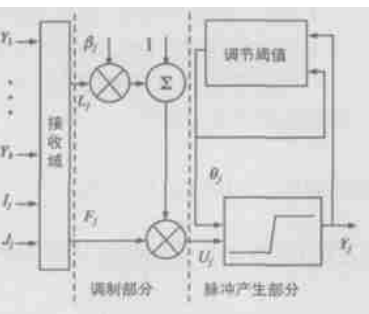


图1 构成PCNN的单个神经元的模型

这模型共分成三部分,接收域、调制部分和脉冲产生部分.接收域接受来自其它神经元与外部的输入.接收域接受到输入后,将其通过两条通道传输.一通道称为F通道,另一通道称为L通道.F通道的脉冲响应函数随时间的变化比L通道慢.图1中, \$Y\_1, \dots, Y\_k\$ 为其它神经元的输出. \$I\_j\$ 与 \$J\_j\$ 表示来自外界而非来自其它神经元的输入,其中, \$I\_j\$ 送至F通道, \$J\_j\$ 送至L通道.调制部分将来自L通道的信号 \$L\_j\$ 加上一个正的偏移量后与来自F通道的信号 \$F\_j\$ 进行相乘调制,见图1与(1)式,得到内部状态信号 \$U\_j\$.模型中偏移量归整为1, \$j\$ 为联结强度.

$$U_j = F_j(1 + J_j) \tag{1}$$

脉冲产生部分由阈值调节器、比较器与脉冲产生器组成.阈值随着输出而改变.当神经元输出一个脉冲,神经元的阈值 \$j\$ 就通过反馈迅速得到提高.当神经元的阈值 \$j\$ 超过 \$U\_j\$ 时,脉冲产生器就被关掉,停止发放脉冲.接着,阈值就开始指数下降,当阈值低于 \$U\_j\$ 时,脉冲产生器被打开,神经元就被点火,即处于激活状态,输出一个脉冲或脉冲序列.若神经元每次点火时,只输出一个脉冲,则脉冲产生部分的比较器与脉冲产生器可由一阶跃函数来代替,见式(2).一般来说,当某神经元的邻近神经元点火时,会对该神经元的信号 \$L\_j\$ 作出贡献.

$$Y_j = \text{Step}(U_j - j) = \begin{cases} 1, & U_j > j \\ 0, & \text{else} \end{cases} \tag{2}$$

将图1中模型的各输入分别加入时延后,就得到了单个DPCNN神经元的模型,见图2.图2中 \$d\_{1j}, \dots, d\_{kj}\$ 分别为神经元1, \$\dots, k\$ 与神经元 \$j\$ 之间的延时, \$d\_{ij}, d\_{jj}\$ 分别表示外界输入 \$I\_j, J\_j\$ 与神经元 \$j\$ 之间的延时.

图2中接收域、调制部分和脉冲产生部分与图1中的对应部分一



图2 构成DPCNN的单个神经元的模型

样.DPCNN神经元中,式(1)变成了式(3)

$$U_j = F_j(d_{1j}, \dots, d_{kj})(1 + J_j(d_{1j}, \dots, d_{kj})) \tag{3}$$

将图2所示的神经元相互连接,就构成了DPCNN.

## 3 基于DPCNN的最短路径求解

引言部分已指出,最短路径求解有广阔的应用背景.1999年,Caulfield & Kinser在IEEE Transaction on Neural Networks上提出了用PCNN求解迷宫问题的新方法<sup>[1]</sup>,该方法虽可利用PCNN的脉冲并行传播特性,迅速地求出最短路径,但所需神经元的数量巨大,图中所有路径的每单位长度均需对应一个神经元.本文提出了DPCNN,解决了Caulfield & Kinser方法中所需神经元数量巨大的问题.采用DPCNN求解最短路径时,路径的各节点及交叉点分别对应一个神经元.回顾一下引言中给出的例子,若节点A,B间的路径长为1000,路径的单位长度为1.采用Caulfield & Kinser方法,需1000个神经元;而采用本文的方法只需对应于节点A,B的2个神经元.当路径AB的长度增加为2000时,采用Caulfield & Kinser方法,需2000个神经元;而采用本文的方法仍只需对应于端点A,B的2个神经元.若路径AB与其他路径有N个交叉点,采用本文的方法则需N+2个神经元.由此可见,与Caulfield & Kinser方法相比,采用本文的方法可极大地节省神经元,从而便于硬件实现.

本文采用DPCNN求解最短路径时,路径图中的各节点分别对应一个神经元.各神经元是通过L通道相互连接的.两神经元之间的时延为这两者之间的路径长度.两神经元之间的时延是对称的.非路径起始点神经元的F通道信号为一相等的非0常量,在整个求解过程中均不改变.路径起始点神经元的F通道信号要大于这个常量,以使得起始点最先点火.由此可见,求解最短路径时,只用到L通道的时延功能,而未用到F通道的时延功能.

图3中的路径图共有4个节点,图中A,B,C,D既表示路径节点,也表示节点对应的神经元.由上述可知, \$d\_{AB} = d\_{BA} = |AB|\$, \$d\_{AC} = d\_{CA} = |AC|\$, \$d\_{AD} = d\_{DA} = |AD|\$, \$d\_{BC} = d\_{CB} = |BC|\$, \$d\_{CD} = d\_{DC} = |CD|\$.

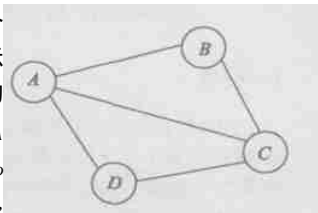


图3 有4个节点并对应4个DPCNN神经元的路径图

采用DPCNN求解最短路径时,首先使对应路径起始点的神经元点火,而其它神经元均不点火.然后对应于起始点的神经元发放出的脉冲沿着所有可能的路径并行地传播开,经过等于各路径长度的时延后,使得与其相连的神经元陆续点火,发放出脉冲.这样就使得由起始点对应的神经元发放出的脉冲仿佛洪水一样在各条路径上传播开.当终点对应的神经元点火时,我们就得到了最短路径.求解过程中,各神经元只点火一次,即已发放过脉冲的神经元不再发放出脉冲,这样就避免了神经元之间的耦合振荡,使得求解过程简单.当某未点火的神经元接受到另一神经元发出的脉冲后,经过等于两神经元之间路径长度的时延后,该神经元就点火,发放出脉冲.

基于DPCNN最短路径求解算法如下:

(1) 初始化

使对应路径起始点的神经元点火, 发放出脉冲, 其它神经元均不点火. 任意两相连神经元之间的时延为这两个神经元之间路径的长度. 各神经元阈值均取相同的值. 路径记录表  $F$  中的元素均取 0.

(2) 脉冲传播

计算路径图中各神经元的内部状态  $U$ , 再与各自的阈值相比较, 得到各神经元的点火状况. 当某神经元点火, 发放出脉冲后, 其发放出的脉冲迅速反馈, 使得该神经元的阈值迅速升高, 从而使之在整个寻找过程中不再点火

(3) 记录路径

当神经元  $i$  经过时延  $d_{ij}$  后, 被来自于相邻神经元  $j$  的脉冲激发点火时, 记录  $\text{Flag}[i][j] = 1$ .

(4) 如果终点对应的神经元点火, 到 (5). 否则, 回到 (2).

(5) 由路径记录表  $F$  得到最短路径, 结束.

如果上述算法中的第 (4) 步中的“如果终点对应的神经元点火”改成“如果路径图中所有神经元都已点火”, 则最终可从路径记录表  $F$  得到起始点到路径图中所有其它点的最短路径.

该算法充分利用了 DPCNN 从 PCNN 继承来的脉冲并行传播特性, 可迅速地求出最短路径, 其所需的计算量仅正比于最短路径的长度, 与图的复杂程度及图中的通路总数无关. 该方法与 Caulfield & Kinser 方法相比, 由于在 PCNN 中引入了延时, 构成了 DPCNN, 从而解决了 Caulfield & Kinser 方法所需神经元数量巨大的问题. 因此, 本文地方法用少量的神经元就可迅速地求出最短路径.

4 仿真结果

大量的计算机仿真结果表明, 采用基于 DPCNN 最短路径求解算法, 可迅速而准确地找到所有起点与终点间的最短路径. 图 4 是仿真中的一个小例子. 该路径图中共有 7 个节点, 13 条边, 边上的数字为与边对应的路径的长度. 今用基于 DPCNN 的最短路径求解算法, 求图 4 中任意两点间的最短路径.

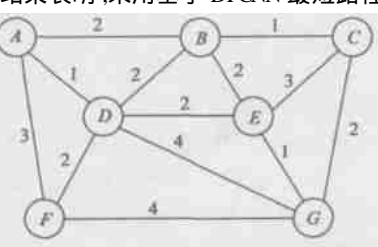


图 4 一个用 DPCNN 求解最短路径的例子

求得:

A 与 G 间的最短路径为:  $A-D-E-G$ , 长度为 4.

B 与 G 间的最短路径为:  $B-E-G, B-C-G$ , 长度为 3.

C 与 D 间的最短路径为:  $C-B-D$ , 长度为 3.

C 与 F 间的最短路径为:  $C-B-D-F$ , 长度为 5.

本文的算法是用计算机仿真的, 其耗时要多于用神经网络硬件实现, 这是因为脉冲在硬件实现的神经网络中是并行传播的, 而在计算机上必需串行模拟. 至于两

表 1 求图 4 中点 A 与其它点的最短路径时, 计算机仿真及硬件实现时的耗时

	B	C	D	E	F	G
硬件	2	3	1	3	3	4
仿真	10	19	3	19	19	33

者之间具体耗时的区别, 则和路径图的具体结构有关. 仍以图 4 为例, 当求点 A 与图中所有点的最短路径时, 计算机仿真与硬件实现时的耗时见表 1, 表 1 中耗时表示为相对量.

5 结论

本文提出了 DPCNN, 并将其成功地用于求解最短路径, 解决了 Caulfield & Kinser 迷宫求解方法应用于最短路径求解时所需神经元数量巨大的问题. 求解最短路径时, 神经元数量的减少, 使得整个网络便于用硬件实现, 而只有通过用硬件实现, 神经网络才能更充分地发挥其快速并行运算的优势.

本文的算法在极大地减少了神经元数量的同时, 保持了 Caulfield & Kinser 方法的优点, 充分利用了 DPCNN 从 PCNN 继承来的脉冲并行传播特性, 从而可迅速地求出最短路径, 其所需的计算量仅正比于最短路径的长度, 与路径图的复杂程度及路径图中的通路总数无关.

综上所述, 基于 DPCNN 的最短路径求解算法是一种有效的, 有其优势的最短路径求解方法.

参考文献:

[1] R Eckhorn, HJ Reitboeck, M Arndt, et al. Feature linking via synchronization among distributed assemblies: Simulation of results from cat cortex[J]. Neural Comput, 1990, 2(3): 293 - 307.

[2] J L John, D Ritter. Observation of periodic waves in a pulse-coupled neural network[J]. Opt Lett, 1993, 18(15): 1253 - 1255.

[3] J L Johnson, M L Padgett. PCNN Models and Applications[J]. IEEE Trans Neural Networks, 1999, 10(3): 480 - 498.

[4] 顾晓东, 郭仕德, 余道衡. 一种基于 PCNN 的图像去噪新方法[J]. 电子与信息学报, 2002, 24(10): 1304 - 1309.

[5] G Kuntimad, H S Ranganath. Perfect image segmentation using pulse coupled neural networks[J]. IEEE Trans Neural Networks, 1999, 10(3): 591 - 598.

[6] H S Ranganath, G Kuntimad. Object detection using pulse coupled neural networks[J]. IEEE Trans Neural Networks, 1999, 10(3): 615 - 620.

[7] J M Kinser. Foveation by a Pulse-Coupled Neural Network[J]. IEEE Trans Neural Networks, 1999, 10(3): 621 - 625.

[8] H John Caulfield, Jason M Kinser. Finding shortest path in the shortest time using PCNN 's[J]. IEEE Trans Neural Networks, 1999, 10(3): 604 - 606.

[9] Ephremides, S Verdu. Control and optimization methods in communication network problems[J]. IEEE Trans Auto Contr, 1989, 34: 930 - 942.

作者简介:



顾晓东 男, 1970 年 10 月生于江苏南通, 北京大学博士, 现为复旦大学博士后, 从事信号与信息处理、通信、人工智能等领域研究, 已发表论文三十篇左右.