云南大学学报（自然科学版），2008，30（2）：142~147　CN 53-1045/N　ISSN 0258-7971
Journal of Yunnan University

基于 DPCNN 的无向赋权图的最小生成树的求解 *

杨丽云，周冬明，赵东风，张绍堂
(云南大学 信息学院通信工程系, 云南 昆明 650091)

摘要: 利用脉冲耦合神经网络(PCNN, Pulse Coupled Neural Network)的脉冲波并行传播特性, 在其时延脉冲耦合神经网络(DPCNN, Delay PCNN)的基础上提出了一种求解无向赋权图最小生成树的新算法. 算法针对最小生成树的权值总和最小且连通的性质, 结合时延脉冲耦合神经网络脉冲波的并行传播, 通过求解无向赋权图的最短路径并对其连通性进行判断, 采用迭代的方法, 成功地求解了无向赋权图的最小生成树. 最后给出了仿真实验, 证明了该方法的有效性, 与传统算法比较有一定的优势.

关键词: 时延脉冲耦合神经网络(DPCNN); 最小生成树; 无向赋权图
中图分类号: TP 183　文献标识码: A　文章编号: 0258-7971(2008)02-0142-06

脉冲耦合神经网络 PCNN(Pulse-Coupled Neural Network)是一种不同于传统人工神经网络的新型神经网络. 脉冲耦合神经网络模型是根据猫的视觉皮层同步脉冲发放现象提出的. PCNN 已成功地应用于通讯、决策优化[1~3]、图像处理[4]等方面.

最小生成树广泛地应用于交通和通信领域, 如 n 个城市之间的通信网络 G, 其中城市用顶点表示, 2 个城市之间的通信线路用边表示, 线路的长度或造价用边上的权值表示, 这样 G 就是一个无向赋权图. 可通过求该无向赋权图的最小生成树得到求解通信线路总代价最小的最佳方案. 文献[5]已将其应用于配电网架优化规划, 取得了好的结果.

最小生成树的求解是指有 n 个顶点的给定权值无向连通图, 如何选取一棵有 $n-1$ 个顶点的生成树, 使树上所有边的权值总和最小[6]. 求解最小生成树的传统有 Kruskal 算法, Prim 算法, 2 种算法均为串行计算方法. Kruskal 算法一般只给出了算法的思想描述, 而没有给出具体的求解方法, 根据 Kruskal 算法的思想, 利用观察法可求出简单图的最小生成树. Prim 算法适合于比较复杂的无向赋权图, 该方法每次求最小边的时候都要重新比较, 不能把上一次比较的信息加以保留, 因此中间的临时数据较多. 本文根据 DPCNN 的脉冲传播特性, 提出了基于 DPCNN(Delay PCNN)的求解最小生成树的一种并行算法. 该算法充分地利用了 DPCNN 的并行传播特性, 能快速地求解出复杂无向赋权图的最小生成树, 且临时数据大大减少.

1 DPCNN 模型

DPCNN 是在 PCNN 的基础上给其它神经元的反馈输入一个延时, 文献[7]中已将其成功地应用于最短路径的求解. DPCNN 还应用在 AOE 网问题求解[8], 最大流问题[9]和 AOV 网拓扑排序[10]中. 其模型如图 1 所示, 我们将数学方程离散化后得到式(1)~(5).

$$F_j(n) = I_j, \tag{1}$$

$$L_j(n) = \sum_k Y_k(n - d_{kj}), \tag{2}$$

$$U_j(n) = F_j(n)[1 + \beta L_j(n)], \tag{3}$$

$$\theta_j(n) = \begin{cases} V_j^T, & Y_j(n-1) > 0, \\ \theta_j(n-1) - \sigma_j^T, & \text{Otherwise}, \end{cases} \tag{4}$$

$$Y_j(n) = \mathrm{Step}[U_j(n) - \theta_j(n)] = \begin{cases} 1, & U_j(n) > \theta_j(n), \\ 0, & \text{Otherwise}. \end{cases} \tag{5}$$

---

* 收稿日期: 2007-09-11
基金项目: 云南省自然科学基金资助项目(2005F0010M); 云南大学重点资助项目(2004Z007C).
作者简介: 杨丽云(1982-), 女, 云南人, 纳西族, 硕士生, 主人从事网络路由、神经网络、图像处理方面的研究.
通讯作者: 周冬明(1963-), 男, 湖南人, 教授, 博士, 主要从事神经网络理论和应用方面的研究.

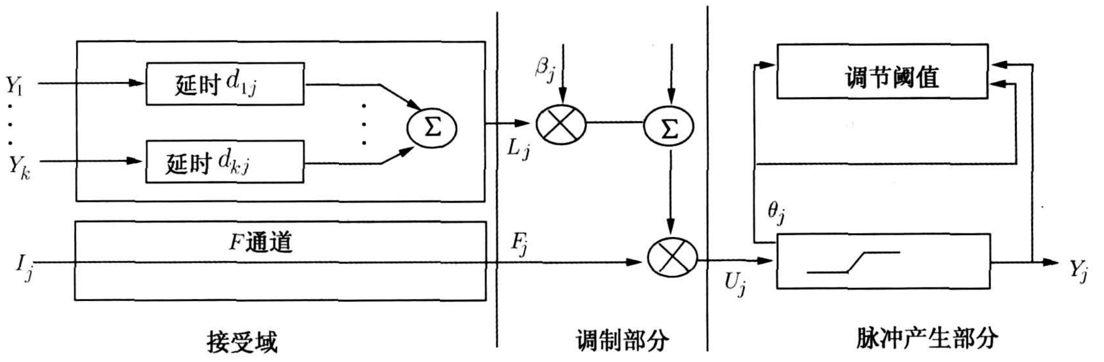


图 **1**　**DPCNN** 模型

Fig. 1 The model of DPCNN

该模型中, L 通道接收神经元的反馈输入 $Y_k(n)$, L_j 是来自其它神经元的输入 $Y_1 \dots Y_k$ 进行时延 $d_{1j} \dots d_{kj}$ 后的求和, 作为 L 通道输出, F_j 是外界激励 I_j 送至 F 通道后的输出, 信号 L_j 加上一个正的偏移量后与信号 F_j 进行相乘调制, 得到内部状态信号 U_j. 当神经元输出一个脉冲, 阈值 θ_j 就通过反馈迅速提高到 V_j^T, 然后线性下降, 在下降过程中, 如果有反馈输入 Y_k, 它导致 $U_j(n) > \theta_j(n)$, 则该神经元被捕获.

2　基于 **DPCNN** 的最小生成树的求解

2.1　实现原理　采用 DPCNN 求解最小生成树时, 无向赋权图中的每一个顶点对应一个神经元, 无向赋权图中顶点 i 和 j 的连接关系体现在神经元 i 和 j 的连接上, 神经元 i 点火后的输出脉冲经过时延 d_{ij} (相当于无向赋权图中顶点 i 和 j 间的路径长度) 输入神经元 j. 这样无向赋权图就对应了一个时延脉冲耦合神经网络.

给所有的神经元在 0 时刻分别接收一个外界输入, 使其在 0 时刻触发点火, 各神经元点火后发出的脉冲沿着所有可能的路径并行传播[7]. 各个神经元在第 2 次点火后发放的脉冲迅速反馈, 神经元的阈值迅速升高, 使之不再点火. 我们把相连神经元的延迟看作相连的路径代价, 与一神经元相连的所有神经元发出的脉冲中延迟最小的脉冲先到达该神经元[8]. 若与神经元 i 相连的神经元有 $\{k, l, j\}$, 它们均在 0 时刻点火后发出脉冲, 若 $d_{ji} < d_{ki} < d_{li}$ 时, 神经元 j 发出的脉冲最先到达, 使神经元 i 第 2 次点火. 若神经元 i 同时接受多个脉冲触发, 神经元仅点火 1 次, 分别记录各个点火前驱(构造点火生成图时可任选一个前驱). 记录所有神经元的第 2 次点火时刻和点火前驱, 然后对其进行分析, 这样很方便地得到了最小生成树的基本雏形, 加以判断和完善就可得到我们所求的最小生成树.

在上述的点火过程中可能出现的一种特殊情况是, 神经元 i 的点火前驱是神经元 j, 神经元 j 的点火前驱是神经元 i, 这样得到的点火生成图就不是连通图, 而欲构建的最小生成树是一个权重最小且连通的无向图[6], 对上面得到的点火生成图进行连通性判断. 首先让一个神经元接收一个外界输入触发点火, 它发出的脉冲输入到与它相连的其它神经元, 触发使其点火. 我们令每个神经元点火 1 次后不再点火, 记录和分析各个神经元的点火情况. 若所有神经元都点火, 说明该点火生成图连通, 即得到了最小生成树. 否则该点火生成图不连通. 根据点火情况作集合分类, 点火的神经元放在集合 P 中, 而未点火的神经元放在集合 Q 中. 根据所作的集合分类, 在原始的连通图所对应的 DPCNN 中, 让集合 P 中的所有的神经元在 0 时刻同时点火. 根据所有神经元点火 1 次就不再点火的限制, 集合 P 中的神经元之间相互发放的脉冲将不再使 P 中的神经元点火, 而是沿着集合 P 和 Q 间所有可能的路径传播开. 集合 Q 中的神经元将陆续被触发点火, 其中沿集合 P 和 Q 所有路径中权重最小的路径传播的脉冲将最先到达集合 Q 中的神经元, 也就是说该神经元最先点火, 若集合 Q 中的两神经元同时最先点火, 则分别记录点火时刻和点火前驱(任选一个). 我们仅记录集合 Q 最早点火神经元的点火时刻和点火前驱, 把得到的计算信息融入到点火生成图中, 然后再来判断是否连通. 若连通, 则得到了我们想求的最小生成树; 否则再进行集合分类, 直到判断出连通为止.

2.2 具体实现过程 参数连接强度 β_{ij} 均相同, 各神经元的阈值幅度系数 V_j^T 和阈值时间常数 α_j^T 也相同.

第 1 步: 构建点火生成图

(1) 初始化 构建无向连通图对应的 DPCNN, 各神经元外部输入 $I_j(j=1, 2, 3\cdots)\neq 0$, 构建二维表, 表结构如图 2 所示, 令表中元素均为 0.

神经元编号n	神经元n 第 2 次点火时刻	神经元n 的点火前驱

图 **2** 计算信息记录表结构

Fig. 2 The format of computing information record

(2) 信息记录及分析 若神经元 i 被神经元j 触发点火时刻为 t_{ij}, 则把该时刻记录到图 2 第 2 列中, 然后使其阈值迅速增大, 使神经元不再点火, 同时记录下相应的点火前驱 j 到图 2 第 3 列中, 从最后节点开始向前逆推可以找到点火生成图.

第 2 步: 判断是否连通

(1) 初始化 根据第 1 步中得到的点火生成图分别构造对应的 DPCNN, 各神经元外部输入 $I_1\neq 0$, $I_j(j=2, 3\cdots)=0$, 建立一个表结构如图 3 所示的表来描述神经元的点火情况.

神经元编号n	神经元n 的标识位Flag

图 **3** 计算信息记录表结构

Fig. 3 The format of computing information record

(2) 信息记录及分析 若神经元点火, 记录值为 1, 否则为 0. 分析神经元的点火情况, 神经元的附加标识位 Flag 全为 1, 即所有的神经元都点火, 该点火生成图为连通图, 也就是我们所求的最小生成树; 反之不连通. 根据神经元的点火情况进行集合分类, 点火的神经元放在集合 $P=\{m, n, \cdots\}$ 中, 未点火的神经元放在 $Q=\{k, l, \cdots\}$ 中.

第 3 步: 求集合间最短路径

(1) 初始化 在原始的无向连通图中所对应的 DPCNN 中, 集合 P 中神经元外部输入 $I_j(j=m, n, \cdots)\neq 0$, 集合 Q 中神经元外部输入 $I_j(j=k, l, \cdots)=0$, 构建 1 个二维表, 表结构如图 4 所示, 令表中元素均为 0.

神经元编号n	神经元n 首次点火时刻	神经元n 的点火前驱

图 **4** 计算信息记录表结构

Fig. 4 The format of computing information record

(2) 信息记录及分析 我们只需要记录集合 Q 中最早点火的神经元的点火信息, 在图 4 中找出点火时刻和点火前驱不为 0 的神经元, 并把记录的信息融入到图 2 所得到的点火生成图中. 若最早点火的神经元有多个, 则分别将信息融入到点火生成图中. 然后对新得到的无向图进行连通性判断, 转到第 2 步.

3 实例计算机仿真与结果分析

现根据本文算法求解无向赋权图 5 的最小生成树. 该图有 9 个节点, 14 条边. 无向赋权图的权重对应于神经元间的延迟. 根据具体实现算法的第 1 步, 得到的计算信息记录如表 1 所示.

从表 1 所记录的点火信息可以看出, 神经元 5 的前驱是神经元 4 或 6, 无向赋权图的最小生成树不唯一, 选择不同的点火前驱得到不同的点火生成图分别如图 6(a), (b) 所示.

先对图 6(a) 进行连通性判断, 其计算信息记录如表 2 所示. 从表 2 中可以看出, 点火神经元的数目为 $2<9$, 因此该图不连通. 可以得到点火的神经元集合 $P=\{1, 2\}$, 未点火的神经元集合 $Q=\{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$.

判断集合间的最短路径, 得到的计算信息记录如表 3 所示. 从表 3 中可知, 最早点火的神经元分别为 3 和 8, 其前驱分别为 2 和 1. 分别把信息分别融合到图 3 中, 得到点火图如图 7(a), (b) 所示.

我们再对图 7(a) 进行连通性判断, 得到的计算信息记录表如表 4 所示. 从表中可知, 所有的神经元都点火, 该图连通, 图 7(a) 为无向赋值图的其中 1 棵最小生成树. 同理可得到另 1 棵最小生成树如图 7(b).

对图 6(b) 进行连通性判断和求集合间最短路径可得到其他 2 颗最小生成树如图 7(c), (d) 所示.

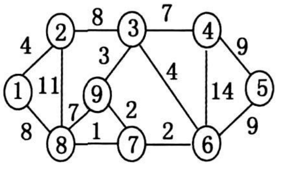


图 **5**　无向赋权图

Fig. 5 Undirected weighted graph

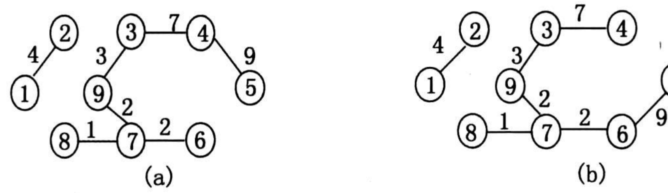


图 **6**　点火生成图

Fig. 6 Generation of ignition

表 **1**　计算信息记录表

Tab. 1 Computation information record

神经元 编号 n	神经元 n 第 2 次点火时刻	神经元 n 点火前驱
1	4	2
2	4	1
3	3	9
4	7	3
5	9	4　6
6	2	7
7	1	8
8	1	7
9	2	7

表 **2**　计算信息记录表

Tab. 2 Computation information record

神经元 编号 n	神经元 n 的 附加标志位 flag
1	1
2	1
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0

表 **3**　计算信息记录表

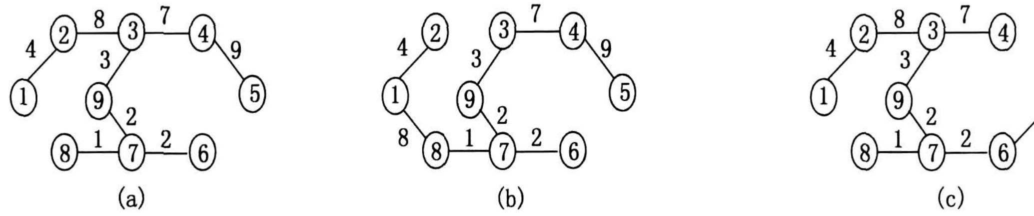
Tab. 3 Computation information record

神经元 编号 n	神经元 n 首次 点火时刻	神经元 n 点火前驱
1	0	
2	0	
3	8	2
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	8	1
9	0	0

表 **4**　计算信息记录表

Tab. 4 Computation information record

神经元 编号 n	神经元 n 的 附加标志位 flag
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1
9	1



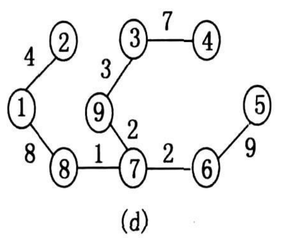


图 **7** 最小生成树

Fig. 7 The minimum spanning tree

4 结论和讨论

算法充分利用最小生成树是权重最小的连通图的性质, 其中 1 次求集合间最短路径相当于 Prim 算法中的 1 次最小边的求解. Prim 算法中的 1 次最小边的求解是一个串行的比较过程, 逐一比较各权值的大小, 中间的临时数据多, 而本文方法一个并行的计算过程, 大大地加快了计算速度, 且仅记录脉冲最早到达集合 Q 的神经元点火时刻和前驱, 使临时数据大大减少. 由于点火生成图已经是所求最小生成树的雏形, 我们可以看出求集合间最短路径的次数要远少于 Prim 算法中的求最小边的次数(有 n 个顶点的无向赋权图, Prim 算法需求 $n-1$ 次最小边) .

本文根据最小生成树的 2 个基本特点(权值最小和连通) , 结合了时延脉冲耦合神经网络的并行传播特性, 提出了一种求解最小生成树的新算法. 该方法通过迭代能快速得到无向赋权图的最小生成树, 与 Prim 算法比较, 本文方法具有计算速度快, 临时数据少, 且便于用硬件实现的特点.

参考文献:

[1] CAULFIELD H J, KINSER M J. Finding the shortest path in the shortest time using PCNN' s[J]. IEEE Trans on Neural Networks, 1999, 10(3): 604-606.

[2] 宋寅卯, 袁端磊. 基于 PCNN 的迷宫最短路径求解算法[J]. 电路与系统学报, 2005, 10(3): 72-75.

[3] 纪其进. 一种基于脉冲耦合神经网络的最短路径算法[J]. 小型微型计算机系统, 2005, 26(5): 827-829.

[4] 石美红, 张军英, 李永刚. 基于差别的汶理图像识别研究[J]. 计算机应用, 2004, 24(1): 66-69.

[5] 刘健, 杨文宇, 余健明. 一种基于改进最小生成树算法的配电网架优化规划[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(10): 103-108.

[6] 卢开澄, 卢华明. 图论及其应用[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 1998.

[7] 顾晓东, 余道衡, 张立明. 时延 PCNN 及其用于求解最短路径[J]. 电子学报, 2004, 32(9): 1441-1443.

[8] 聂仁灿, 周冬明, 赵东风. 基于时延脉冲耦合神经网络的 AOE[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2007, 29(1): 30-34.

[9] 杜华, 周冬明, 赵东风. 时延脉冲耦合神经网络在最大流问题中的应用[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2007, 29(5): 453-458.

[10] 聂仁灿, 周冬明, 赵东风. 双通道时延脉冲耦合神经网络及其用于 AOV-网拓扑排序[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(11): 57-60.

The solution-based DPCNN to the minimum spanning tree of undirected weighted graph

YANG Li-yun, ZHOU Dong-ming, ZHAO Dong-feng, ZHANGN Shao-tang

(Department of Communication Engineering, School of Information, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: It is presented a new algorithm to find the minimum spanning tree on the basis of the pulse parallel transmission characteristic of DPCNN(Delay Pulse Coupled Neural Network). According to the character of the minimum spanning tree, the minimal weight summation and connectivity, algorithm combines DPCNN together and finds the shortest path of undirected weighted graph, then judges the connectivity. By the iterative method, this algorithm can be used to find the minimum spanning tree of undirected weighted graph. Finally, it is given the simulation experiment to show its availability. Therefore, it is clear that it is more advantageous than the traditional ways.

Key words: delay pulse coupled neural network; minimum spanning tree; undirected weighted graph

* *

(上接第 112 页)

Constrained star partition problems

ZHANG Tong-quan[1], LI Wei-dong[2], LI Jian-ping[2]

(1. Center for Nonliner Complex Systems, School of Physical Science and Technique, Yunnan University, Kunming 650091, China; 2. Department of Mathematics, School of Mathematics and Statistics, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: Two problems of star partition with some restrictions on edge weighted graphs were considered here, i. e. minamal cardinality $S(L)$ partition problemand Minamal cardinality $S\sum(L)$ partition problem, the following results were obtained, ① Minamal cardinality $S(L)$ partition problem's NP-Completeness was proved on general graphs; ② Minamal cardinality $S\sum(L)$ partition problem's NP-Completeness was proved on general graphs, too, and for any small number ε, there is no $(3/2-\varepsilon)$-approximate algorithm for Minamal cardinality $S\sum(L)$ partition problem on general graphs, unless $P=NP$.

Key words: minamal cardinality; $S(L)$ partition problem; $S\sum(L)$ partition problem; NP-Completeness; approximate algorithm