第20卷 第6期 自 动 化 学 报 Vol. 20, No. 6
1994年11月 ACTA AUTOMATICA SINICA Nov., 1994

短 文

分布式网络局部学习方法及其在推断控制中的应用[1)]

罗荣富 邵惠鹤
(上海交通大学自动控制系 上海 200030)

摘 要

本文提出了分布式网络局部学习方法，并采用趋化性神经网络设计了一个非线性推断估计器，对某大型气体分馏装置的丙烯丙烷精密精馏塔进行了推断控制，取得了令人满意的结果.

关键词: 分布式网络局部学习，趋化性神经网络，推断控制，精密精馏过程.

1 引言

推断控制(Inferential Control)能够有效地解决在不可测扰动的作用下，过程不可测输出变量的控制问题. 其基本思想是[1]: 根据比较容易测量的过程辅助变量，即二次测量变量 (Secondary Measurements)，来估计不可测扰动对过程主要输出变量（如产品质量)的影响. 推断控制已有大量的理论研究成果，但在实际工业过程中应用成功的实例却很少，原因在于: 1) 对于工艺复杂、非线性严重的过程，如精密精馏过程，要建立高精度的估计模型很困难; 2) 实际工业过程的时变性比较严重，要求估计器有较好的自适应能力. 神经网络理论的发展为解决上述问题提供了一条有希望的途径[2]，其优良的性质(如: 并行计算、可学习、容错等)可以用来构成精度高并具有学习能力的在线推断估计器(On-line Inferential Estimator). 本文在这方面进行了研究，提出了分布式网络局部学习的新方法，同时采用了一种灵活高效的趋化性神经网络(Chemotaxis Neural Network, 以下简称 CNN)，以达到高精度建模、高效率学习的目的.

2 分布式网络局部学习方法的提出

由于工业过程的复杂性，如果用一个整体网络来映射全部的初始样本空间，就难以达到理想的结果. 因为，虽然具有两个隐含层的前向型神经网络已经被证明可以用来逼近任意精度的非线性函数，但对于精密精馏这样的非线性严重的过程，网络必然较大，致使运算和学习速度变慢，从而给估计器的在线运行带来不利的影响；而且不同样本间的学习

本文于1992年5月13日收到.
1) 本课题属国家八五科技攻关项目(85-720-10-15)并得到中国石化总公司石家庄炼油厂的大力支持. 本文曾在国际自控联第12届世界大会上宣读.

过程往往相互干扰,顾此失彼. 于是我们提出分布式网络局部学习的方法:

1) 分布式网络 (Distributed Network). 对初始样本空间进行聚类分析, 将其分为具有不同特征值的多个子空间, 用不同的子网络分别进行学习, 得到一个分布式网络 DN_i, 其中 $i=1,2,\cdots,n$, 对应着不同的输入量特征值.

2) 局部学习 (Local Learning). 对于每一个学习样本, 通过分类决策确定其类属 i, 分别用相应的分布式子网络 DN_i 对其进行局部学习, 这样可以避免不同子网络之间学习的相互干扰. 下面将通过神经网络推断估计器的设计来详细说明这种学习方法.

神经网络有多种形式,各有其优缺点. 这里采用趋化性网络,它因具有灵活、高效的优点而引起日益广泛的注意.

3 精密精馏过程的神经网络推断控制

本文的研究对象是某大型气体分馏装置的丙烯丙烷精馏塔,该塔有 181 块塔板,并且有一个中间再沸器. 其产品为聚合级丙烯,要求丙烯纯度 ≥99.6%,同时要求塔底丙烯纯度≤5%. 该塔的控制方案包括: 提馏段物料平衡控制、浮动塔压控制、最佳回流比控制和双温差控制(详见文献[4]).

这里采用的二次测量变量[3]为精馏段温差 ΔT_1、提馏段温差 ΔT_2、双温差 $\Delta^2 T$ 和塔压差 ΔP (均经过数据滤波等预处理过程), 输出量为塔顶丙烯含量 x_{D1}、塔底丙烷含量 x_{B1}、塔底异丁烷含量 x_{B3}. 估计模型如图 1 所示.

其中, n_1—n_4 为动态滞后时间常数. 网络的输出经过一个一阶低通滤波器之后, 作为产品成分的估计值:

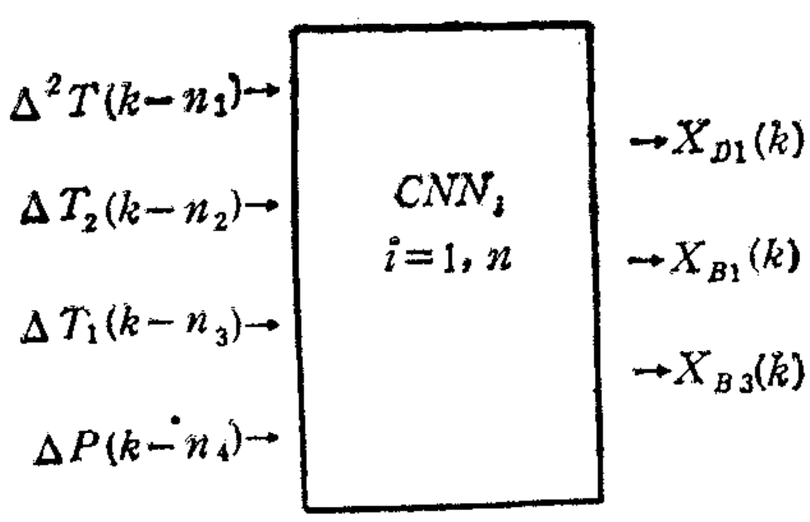

图 1 推断估计器模型示意图

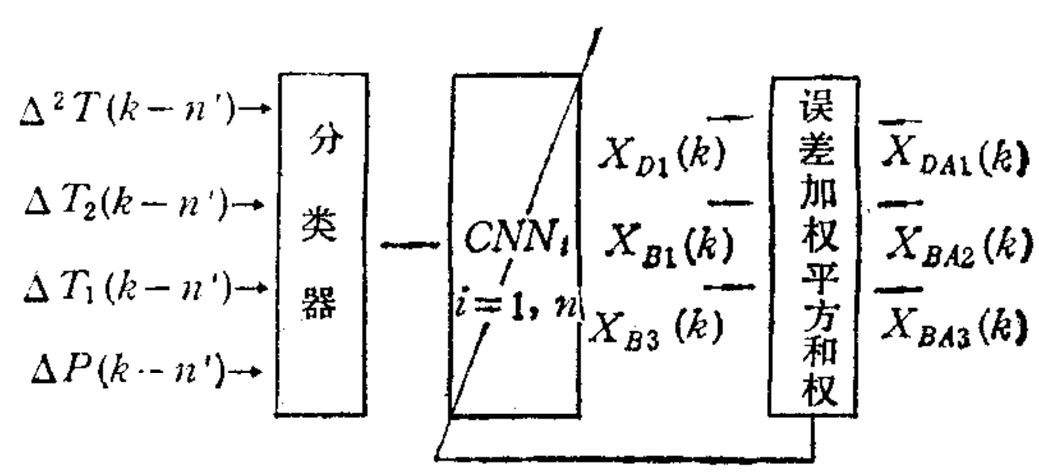

图 2 推断估计器的学习过程

$$x(k)=\Omega x(k-1)+(1-\Omega)x'(k) \tag{1}$$
$$(0\leqslant\Omega\leqslant 1)$$

其中 $x(k)=[x_{D1}(k),\ x_{B1}(k),\ x_{B3}(k)]^T$ 为产品成分估计值; $x'(k)=[x'_{D1}(k), x'_{B1}(k), x'_{B3}(k)]^T$ 为未经滤波的网络输出值. 滤波常数 Ω 可同网络的权值一起改变, 而不必修改算法,由此也可看出 CNN 的灵活性.

通过大量的工艺机理分析, 我们以 ΔT_2 的不同取值来将初始样本空间划分为六个子空间,分别用六个网络进行学习,采用 CNN 算法, 得到以下分布式网络 (括号中数字分别代表输入层、第一隐含层、第二隐含层、输出层的神经元数目): DN_1(4-5-5-3);DN_2

(4-5-8-3)；DN_3(4-8-8-3)；DN_4(4-12-4-3)；DN_5(4-10-9-3)；DN_6(4-4-8-3)。

估计器的学习信号采用现场每二小时或四小时的离线色谱分析值，记为 $x_{DA1}(k)$，$x_{BA1}(k)$，$x_{BA3}(k)$，$\Delta^2T(k-n')$，$\Delta T_2(k-n')$，$\Delta T_1(k-n')$ 和 $\Delta P(k-n')$。其中 n' 为色谱分析的滞后时间。学习过程如图 2 所示。

两年多的在线运行表明，该神经网络推断估计器是精确、可靠的，部分估计结果如图 3 所示。产品成分的估计值被用作反馈信号以构成成分控制回路。该丙烯丙烷精馏塔实施推断控制及计算机控制后，产品质量稳定，波动范围小，丙烯收率提高 2% 左右，而且能量消耗在同样收率时是下降的，年经济效益为 480 万元(该项目已通过国家鉴定)。

4 结　论

本文提出的分布式网络局部学习方法，应用于精密精馏过程的神经网络推断控制，实际运行结果表明，这种方法能够有效地处理复杂工业过程的模型化及自学习问题。

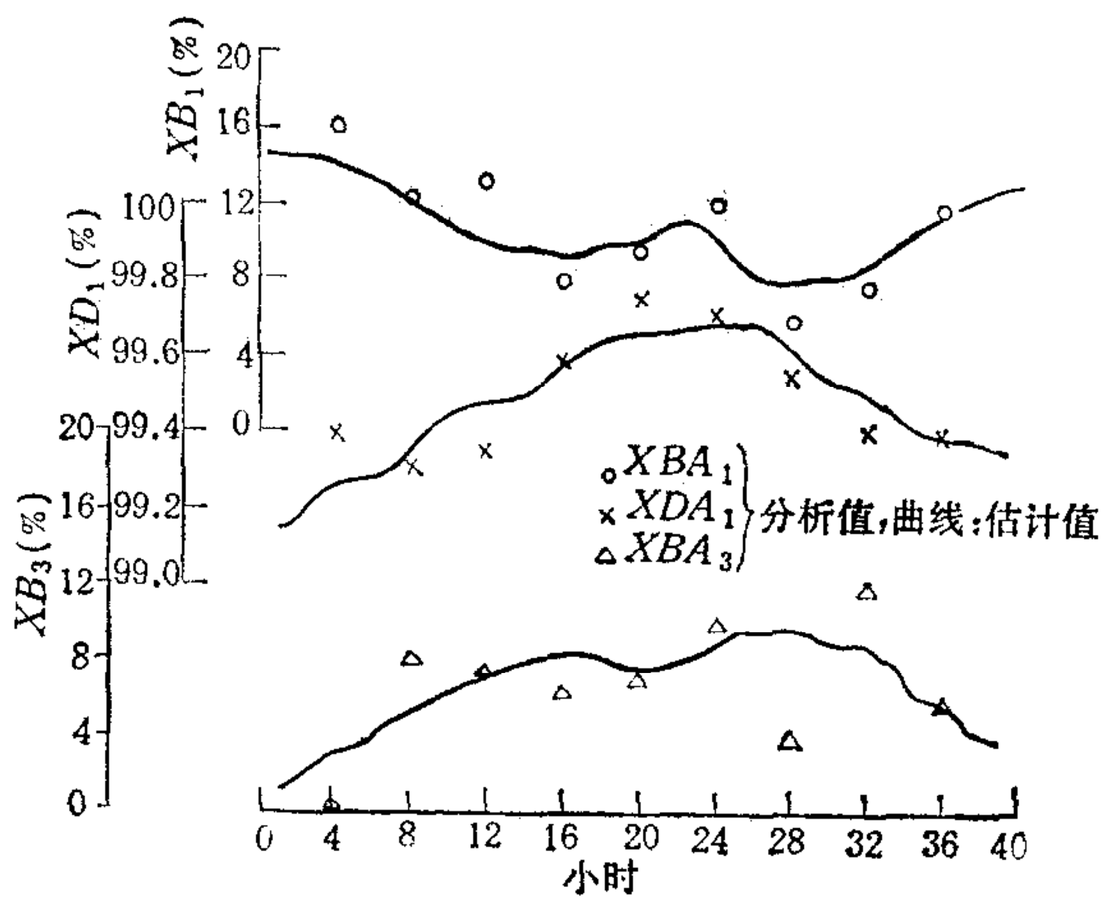

图 3　推断估计器的估计结果

参　考　文　献

[1] B C Joseph, C B Brosillow. Inferential Control of process. *AIchE. J.* 1978, **24**(3): 485—509.

[2] M J Willis, et al. Artificial neural Network in process engineering. *IEE PROCEEDINGS-D*, 1991, **138** (3): 256—266.

[3] 罗荣富，邵惠鹤. 推断控制中二次变量选择方法的研究. 1992 年 控制与决策学术年会论文集，«控制与决策»编委会出版，1992(6): 146—149.

[4] 罗荣富等. 丙烯精馏塔的非线性推断控制系统. 化工自动化及仪表，1992，(5): 5—9.

LOCAL LEARNING METHODOLOGY FOR DISTRIBUTED NETWORKS AND ITS APPLICATION IN INFERENTIAL CONTROL

LOU RONGFU SHAO HUIHE

(Department of Automatic Control, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030 *P. R. China)*

ABSTRACT

In this paper, Local learning methodology for distributed networks is proposed, and a chemotaxis network is adopted to design a nonlinear inferential estimator. Satisfactory results have been obtained from the inferential control application to a large-scale high purity distillation column.

Key words: Local learning methodology for distributed networks, chemotaxis network, inferential control, high purity distillation.

PACES' 95

亚太地区专家系统学术会议征文通知

1995 年 5 月 16—18 日，中国、黄山

主办单位：中国自动化学会，中科院合肥智能机械研究所

支持单位：中国科学院国际合作局，国家自然科学基金委，国家科委基础研究与高技术司

协办组织：中国计算机学会人工智能与模式识别专业委员会，澳大利亚计算机学会，专家系统应用国际杂志，香港理工大学，会计金融管理智能系统国际杂志，国际应用智能学会，国际智能系统学会，日本人工智能学会知识基系统分会，中国人工智能学会知识工程专业委员会，韩国专家系统学会，中国自动化学会模式识别与机器智能专业委员会，新加坡计算机学会人工智能分会，泰国信息处理学会，专家系统世界大会等。

名誉主席：戴汝为(中国) B. Chandrasekaran (U. S. A)

会议主席：熊范纶(中国)

合作主席：Jae Kyu Lee (Korea), Riichiro Mizoguchi (Japan)

征文范围：
- 基于案例推理
- 机器学习
- 神经网络
- 基于模型推理
- 实用专家系统
- 模糊专家系统
- 遗传算法
- 知识获取
- 专家系统与其它技术的集成
- 知识库的验证与有效性
- 专家系统开发技术
- 约束满足编程
- 专家系统的应用
- 分布式专家系统
- 知识的分配与再利用

主要项目：1994 年 12 月 15 日截稿，1995 年 1 月 31 日录用通知，1995 年 3 月 1 日终稿递交

论文请寄：230031 合肥市 1130 信箱中科院合肥智能所 熊范纶

(0551) 5128179 Fax: (0551) 5591100