

BP神经网络补偿快速成型系统闭环误差的研究

原红玲¹ 杨颖² 崔国明¹

(1. 河南机电高等专科学校, 新乡 453002; 2. 合肥工业大学, 合肥 230009)

摘要 提出快速成型系统闭环误差反馈的必要性, 将 BP 神经网络引入快速成型技术, 建立了快速成型误差补偿模型, 探求出一种快速成型系统闭环误差的反馈方法, 并通过实例进行了验证。结果表明, 基于 BP 神经网络控制的最大绝对误差和相对误差均比传统误差补偿方法大为降低。

关键词 快速成型系统 闭环误差反馈 BP 神经网络

快速成型(简称 RP)技术是 20 世纪 80 年代发展起来的集多种先进技术于一体的一种新兴制造技术, 它以显著的经济效益和时间效益受到企业的高度重视^[1]。成型精度的提高是 RP 技术能否在国民经济更为广阔的领域内获得推广和应用的关键问题之一。笔者在多年研究和实践经验的基础上, 提出 RP 系统闭环误差反馈的必要性, 并把神经网络引入 RP 技术, 探求出一种补偿 RP 误差、提高制造精度的有效方法。

1 RP 系统闭环误差反馈的必要性

RP 方法自诞生以来, 已经发展了多种技术。RP 系统制造的整个过程为: 实体 CAD 造型(或三维反求) → 转换为 STL 格式, 计算机对 CAD 模型作定向、分层、加支撑等工作(前处理) → 由成型机制造出实体原型 → 去除支撑、打磨、抛光(后处理)等环节^[1]。

上述 RP 制作的每个环节都存在误差, 为了提高其精度, 不少人进行了深入的研究, 并把研究成果应用到了 RP 软件和硬件设备上。但 RP 是一个复杂的过程, 每个工艺环节精度的影响因素很复杂, 各个工艺环节精度的影响因素还可能互相矛盾。因此, 单个环节精度的提高并不能最终提高整个工艺过程的精度。应把整个工艺环节的误差按照一个累计效应来考虑, 即把整个系统制造过程的误差链作为一个闭环系统来考虑, 按照整个制造环节的累计误差来修改三维 CAD 模型的尺寸, 从而保证最后的制件有较高的精度。图 1 示出 RP 系统闭环误差的反馈模式。

2 BP 神经网络补偿 RP 误差

2.1 BP 神经网络简介

人工神经网络是近年来兴起的一种现代信息处理方法, 它是采用工程技术手段模拟人脑神经网络的结构和功能的一种技术系统。人工神经网络可以

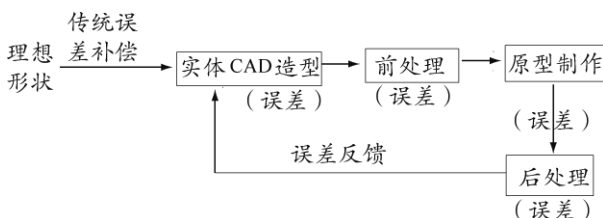


图1 RP 系统闭环误差的反馈模式

根据所提供的数据, 通过学习和训练, 找出其与输出数据的内在联系, 并能处理那些未经训练的数据, 获得相应于这些数据的解答^[2]。

多层前向网络(即 BP 神经网络)是目前研究和应用最多的神经网络之一。它由输入层、隐层和输出层组成, 包括正向传播和反向传播两个过程。它通过样本数据进行训练, 在正向传播过程中, 样本数据作为神经元的激活值, 从输入层经隐层向输出层传播, 经活化函数运算后得出输出值, 与期望数值比较得到误差, 然后再将误差反向传播, 即从输出层经中间层, 逐层修正各连接权值使误差逐渐减小, 最后回到输入层。重复以上过程, 直到满足 BP 神经网络预先设定的误差要求或得到预先设定的训练步数。有理论证明, 一个三层 BP 神经网络可实现以任意精度逼近任何曲线。笔者采用具有单隐层的三层 BP 神经网络, 其拓扑结构图见图 2。

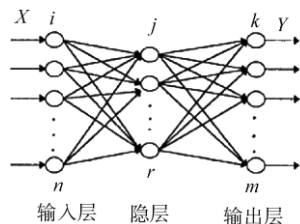


图2 具有单隐层的三层 BP 神经网络拓扑结构

2.2 RP 误差补偿模型建立

在同一台快速成型机上, 假设设备的工艺参数

都保持不变, 则可将 RP 系统看作一个多输入多输出的非线性加工系统, 可以用 BP 神经网络处理其复杂的映射关系。运用 BP 神经网络控制 RP 系统精度的基本思想是, 由于 RP 系统的输入数据是已知的, 输出数据可以测量, 所以神经网络可以根据 RP 系统过去的输入输出数据进行学习, 当学习次数足够多时, 该神经网络模型就可以表示 RP 系统输入对于输出的映射关系^[3]。

首先用一个三层 BP 神经网络进行学习, 利用以往的工程记录数据, 在 RP 系统已加工好的原型零件上取 n 个独立的尺寸作研究。设所研究尺寸的理想数据(零件图示数据)为 $L_1, L_2 \cdots L_n$, RP 系统制造快速原型的对应尺寸数据的实测值为 $S_1, S_2 \cdots S_n$ 。假设 RP 系统的加工参数不变, 则可认为该系统的上述输出完全由各对应点的 n 个可控输入 $K_1, K_2 \cdots K_n$ 决定。对神经网络进行训练时, 把所研究尺寸的实测数据($S_1, S_2 \cdots S_n$)作为网络的输入层数据, 把 RP 系统的实际输入(RP 加工软件线形补偿误差后的数据 $K_1, K_2 \cdots K_n$)作为网络的教师信号。

有了神经网络训练好的模型, 接着即可前置加工系统进行校正。在实际加工中将标准尺寸(图形数据)输入已训练好的神经网络输入层节点, 网络输出层各节点的输出值即为能使 RP 系统产生标准输出的最佳控制输入。以这个最佳控制输入作为将要输入 RP 系统的三维 CAD 的尺寸数据, 即可控制加工误差, 得到近乎理想的加工结果。

最后建立一个三层 BP 神经网络来训练 RP 系统的理想输入数据。利用生产过程中的工程记录数据, 取 40 组样本数据(S_i, K_i)对改进的 BP 神经网络进行离线学习, 以建立网络的权值矩阵, 然后用 8 组检验数据对训练好的 BP 网络进行检验。网络经过 5 000 次学习, 总的系统归一化误差降低到 0.025。

3 基于 BP 神经网络的闭环误差控制实验验证

3.1 对比测试件的制作和精度测试

至今国际上还没有统一 RP 的精度测试零件。本实验采用的测试件是在美国 150 多家公司、研究机构、大学、实验室共同设计的 user-part 测试件(我国的许多研究机构也大多采用此测试件)基础上作了少许改进, 设计了 X、Y、Z 三个方向共 40 多个独立尺寸, 可以很好地用于测量精度。

在进行对比实验时, 先用传统的误差补偿方法制造一个 user-part 测试件作为对比依据。把训练好的神经网络前置于此 RP 系统, 把测试件的标准尺

寸(图形尺寸)作为神经网络的输入层数据, 则神经网络的输出层数据就表示能达到此标准尺寸的 RP 系统的最佳控制输入, 以此数据加工出第二个 user-part 测试件。测试件原型在 LPS-600 快速成型机上制作。成型条件为: 激光功率 20 mW, 扫描方式 Star-Weave, 分层厚度 0.2 mm, 扫描间距 0.1 mm, 扫描速度 400 mm/s。制作好后分别测试两个测试件原型(图 3)的精度。

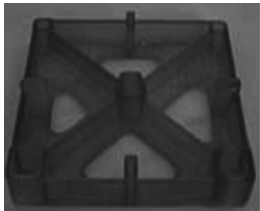


图 3 user-part 测试件原型

在两个测试件原型上各取 10 个对应尺寸进行测量, 结果见表 1。

表 1 user-part 测试件加工误差控制方法比较¹⁾

尺寸编号	标准尺寸/mm	传统误差补偿			BP 神经网络控制误差		
		尺寸数值/mm	绝对误差/mm	相对误差/%	尺寸数值/mm	绝对误差/mm	相对误差/%
X1	2	2.081	0.081	4.05	2.000	0	0
X2	4	4.062	0.062	1.55	4.005	0.005	0.125
X3	10	9.983	0.017	0.17	10.001	0.001	0.010
X4	48	48.320	0.320	0.67	47.992	0.008	0.017
Y1	2	1.973	0.027	1.35	2.001	0.001	0.050
Y2	7	7.026	0.026	0.37	6.994	0.006	0.086
Y3	10	9.921	0.079	0.79	10.012	0.012	0.120
Y4	48	48.128	0.128	0.27	48.013	0.013	0.027
Z1	5	5.043	0.043	0.86	4.991	0.009	0.180
Z2	12	11.925	0.075	0.63	12.006	0.006	0.050

注: 1) 测量工具为千分尺、投影仪。

由表 1 可看出, 传统误差补偿方法的尺寸最大绝对误差为 0.320 mm, 最大相对误差为 4.05%, 而 BP 神经网络控制误差方法的尺寸最大绝对误差为 0.013 mm, 最大相对误差为 0.18%。

3.2 基于 BP 神经网络补偿误差的诊疗仪原型制作和精度测试

在该 RP 系统下, 采用基于 BP 神经网络的闭环误差控制方法制作了一诊疗仪原型, 如图 4 所示。

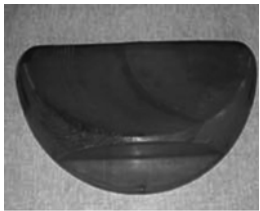


图 4 诊疗仪原型

诊疗仪的成型条件同 user-part 测试件。制作好后,在诊疗仪原型上取了 6 个不相关尺寸测试其精度,结果如表 2 所示。

表 2 诊疗仪的精度测试结果¹⁾

尺寸 编号	标准尺 寸 /mm	实测尺 寸 /mm	绝对误 差 /mm	相对误 差 /%
1	36	35.922	0.078	0.217
2	17	17.091	0.091	0.535
3	9	9.041	0.041	0.456
4	6	6.023	0.023	0.383
5	3	2.983	0.107	0.567
6	2	2.009	0.009	0.450

注: 1) 测量工具为千分尺、投影仪。

由表 2 可看出,所测尺寸最大绝对误差为0.107 mm,最大相对误差为0.567%。

user-part 测试件的对比实验和诊疗仪的精度测试结果进一步表明,在控制好每一环节误差的基础上,引入 BP 神经网络得出 RP 系统的输入数据,依此输入数据加工出来的原型具有比较高的精度。

RESEARCH INTO THE COMPENSATION OF CLOSED LOOP ERROR OF
RAPID PROTOTYPING SYSTEM BY BP NERVE NETWORK

Yuan Hongling¹, Yang Yin², Cui Guomin¹

(1. Henna Mechanical and Electrical Engineering College, Xinxiang 453002, China;
2. Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

ABSTRACT The necessity of closed loop error feedback of rapid prototyping(RP) system is proposed and an error compensation model of RP is created. Based on this model, a feedback method of RP is established and proved. The results show that both the maximum absolute error and the relative error based on BP nerve network are much lower than those of the traditional method.

KEYWORDS rapid prototyping system, closed loop error feedback, BP nerve network

博世力士乐公司推出注塑新技术

博世力士乐公司在 5 月广州举行的 2007 国际橡塑展上首次推出了代表最新技术方向的全电动注塑及电动液压复合式注塑解决方案。作为注塑机厂家的一站式供应商,该公司掌握着从液压到电气、气动及线性传动的整套技术。该公司密切关注中国市场的发展变化,针对用户实际需要,专门提供全套定制化的注塑解决方案。

本次展出的用于高速、高精度闭环注射方案使用了带专用注射曲线的高频响阀 WRLE,性能可媲美伺服阀,但避免了伺服阀对油液污染的敏感性和维修难题;同时配备的专用闭环数字卡,优化了注射过程设置和诊断界面,使复杂的闭环射胶控制简单易行,满足了高速液压式注塑机对控制技术、加工精度方面的苛刻要求。

该公司最新的全电动注塑系统解决方案以其全开放的控制系統软硬件使整机用户可自行设计操作画面,并可根据需求随意增加伺服轴。此外,该系统采用智能驱动系统,可在运动过程中快速转换控制环之间的模式,其配套的各种惯

4 结语

(1) 利用训练好的 BP 神经网络可以对 RP 系统的精度进行离线控制。

(2) 对于光固化快速成型方法之外的其它快速成型方法(如粉末材料选择性激光烧结、薄形材料选择性切割等),该误差控制方法仍然适合,只是各个环节的误差及其控制措施不尽相同,训练 BP 神经网络时采集相应 RP 系统的数据即可。

(3) 用于控制 RP 制造精度的神经网络在使用一段时间后,应采集新的数据重新训练,这样制作出来的原型精度比较稳定。

参考文献

[1] 王学让.快速成型与快速模具制造技术[M].北京:清华大学出版社,2006.
[2] 于松章.基于 RPE/RP/RT 技术的产品快速集成制造系统[J].新技术新工艺,2004(3):132-134.
[3] 常家东.基于 BP 神经网络的磨机调心滚子轴承故障诊断研究[J].煤矿机械,2004(3):30-32.

量伺服电机和大功率驱动器可与目前各种规格的注塑机的机械部分匹配,从而在操作过程中完成各部件之间的快速响应,达到精密注塑的各种要求。(中塑机网)

高精度宽幅塑料异型材辅机项目通过专家验收

合肥三佳科技股份有限公司承担的高新技术出口研发项目——600~1000 mm 高精度宽幅塑料异型材辅机项目最近在合肥通过了省商务厅、财政厅组织的专家验收。

该项目被列为商务部 2006 年度高新技术出口研发项目。产品能够满足挤出型材宽度在 1000 mm 以内的各种塑料异型材的挤出生产工艺要求,整机外形美观、结构合理,目前已出口到欧洲和美洲市场,累计实现出口额 241 万美元,预计今年出口将达 300 万美元。

验收专家组认为,承担企业提供的项目验收数据齐全、规范。项目获得了 4 项国家实用新型专利。产品的各项技术指标全部达到或超过项目申报书的要求。该项目的整体技术水平处于国内领先,部分技术指标达到国际先进水平。

(工塑网)