

基于 BP 神经网络的工程图形数据 远程安全快速传输法

秦威¹, 秦书玉²

(1. 北京航空航天大学机械工程及自动化学院, 北京 100083;

2. 辽宁工程技术大学电子与信息工程系, 辽宁阜新 123000)

[摘要] 在数字化制造中, 企业内部及企业之间可以通过 Internet 实现在不同时空坐标上进行短时间工程图形信息交流, 这种传输工程图形信息的方式, 既节省了人力、物力、财力, 也使得数据的获取最大程度上减少了错误和冗余。根据图形的几何元素相关性的特征, 建立参数结构, 采用人工神经网络 BP 算法同时进行数据编码压缩和数据加密, 实现复杂工程图形数据的远程高效安全传输。实例表明, 此方法可用于实际工程。

[关键词] 神经网络; BP 算法; 相关性; 加密; 快速传输; 图形数据

[中图分类号] TP391.73 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742 (2007) 01-0049-04

数字化制造^[1]的最大优势之一是整机从设计到制造全部脱离图纸和现实试验, 完全利用计算设备的强大计算能力和虚拟制造能力完成原来必须花费大量人力、物力、财力才能完成的工作。企业通过 Internet 或者 Intranet 将位于不同时间和空间坐标的独立个体联系起来, 使分布于全国甚至全球的子公司、分厂、合作生产商或者企业内部的组织部门可以在最短的时间内进行信息交流。这种方式既节省了人力、物力、财力, 也使得数据的获取最大程度上减少了错误和冗余。

通过网络进行工程图形信息数据远程传输, 实现数字化制造的重要技术的广泛应用, 笔者提出采用 BP 神经网络等理论实现工程图形数据安全快速传输。

1 基于 BP 神经网络工程图形数据远程安全快速传输的原理和方法

基于 BP 神经网络的工程图形数据远程安全快速传输的原理和方法: 首先利用图形数据之间的相关性, 简化工程图形存储的数据结构, 确定图素的

参数; 然后利用 BP 神经网络的模式变换能力实现对工程图形数据的编码压缩。根据神经网络的特有机制, 在数据压缩的同时, 对工程图形数据进行加密。在对图形文件进行压缩和数据加密之前对文件格式进行转换, 使从设计部门传递到生产部门的图纸数据可直接转换为加工数据, 不需要复杂的文件格式匹配。

1.1 工程图形的相关性数据形式及图素参数的确定

工程图多为线架图, 因此可根据描述图形几何元素的相关性特征, 建立参数化数据结构, 实现对工程图形进行传输与存储。由于采取此方式可省去大部分对描述图形不起作用的像素, 因而可以提高图形显示的速度和效果^[2]。

图形即图素的有机组合, 不同种类、数量的图素按照一定的数据结构形式构成图形^[3]。图素之间的连接顺序表达了工程图表数据结构的简单形式, 而图素之间在连接过程中的连接形式, 即连接过程中的相关性, 是工程图形的数据结构的复杂形式, 如图 1 所示。

[收稿日期] 2005-07-04; 修回日期 2006-03-01

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目 (69975002)

[作者简介] 秦威 (1978-), 男, 辽宁建平县人, 北京航空航天大学博士生, 主要从事先进制造技术、复合材料成形工艺及金属板料塑性成形工艺研究

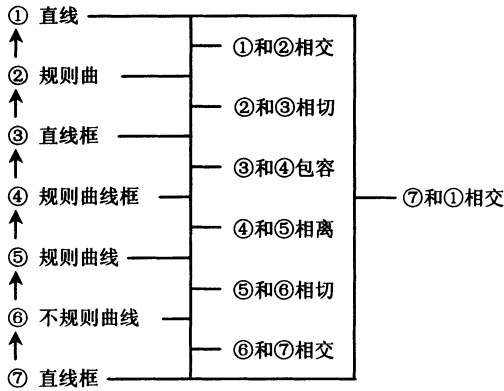


图 1 构成某一图形的图素

Fig.1 The elements of some graphics

图素的参数是在形成该图素的过程中，由描述图素特征的具体几何约束条件确定^[4]，如表 1。图素的参数在图形形成、存储或输出过程中具有同等作用，可由若干个表示该图素特征的字节组成。

表 1 某图形中图素参数的设置

Table 1 Setting for elements' parameter of graphics

图素名称	图素字符串中的参数
两点线段	{ a, x ₁ , y ₁ , x ₂ , y ₂ , color }
增量线段	{ b, x, y, color }
不规则直线框	{ c, x ₁ , y ₁ , x ₂ , y ₂ , ..., color, n }
不规则充填直线框	{ d, x ₁ , y ₁ , x ₂ , y ₂ , pattern, color, n }
曲线(圆弧)	{ e, x ₀ , y ₀ , r, a ₁ , a ₂ , color }
曲线框(圆)	{ f, x ₀ , y ₀ , r, color }
充填曲线框(圆)	{ g, x ₀ , y ₀ , r, pattern, color }
不规则曲线	{ h, x ₁ , y ₁ , x ₂ , y ₂ , pattern, color, n }
不规则充填曲线框	{ i, x ₁ , y ₁ , x ₂ , y ₂ , ..., pattern, color, n }

表 1 中，每个图素字符串中的第一个参数表示该图素名称属性，最后的参数 n 确定该图素的参数长度。对于规则图素，n 做隐含处理。

1.2 基于 BP 神经网络的编码压缩

基于 BP 神经网络的编码压缩是把一组输入模式通过少量的隐层节点映射到一组输出模式，并使输出模式等同于输入模式。当中间隐层的节点数比输入模式维数少时，就意味着隐层能更有效的表现输入模式，并把这种表现传给输出层。在这个过程中，输入层和隐层的变换可看成是压缩编码的过程；而隐层和输出层的变换可看成是解码过程。

采用 BP 神经网络对工程图形数据压缩传输时，首先从选取的图纸中随机抽取若干工程图形数

据样本作为训练样本进行训练，通过调整权值使训练集的重建误差达到最小。训练后的网络可用于执行数据的压缩，此时隐层输出向量便是数据压缩结果，而输出层的输出向量则是重建的结果。

1.3 基于 BP 神经网络的工程图形数据加密

由于隐层的存在，在输入模式向隐层变换过程中加入密钥对隐层的输出向量进行耦合运算，从而实现数据的加密。在神经网络的自训练机制下的隐层和输出层的变换过程中，按前面加密压缩时的密钥规则进行反运算，即可得到原始数据。由于神经网络的自身特点，这一加密解密过程是通过训练机制自动实现的，不需要人为干涉或制定某种特殊的加密解密的密钥。

2 基于 BP 神经网络的工程图形数据远程安全快速传输的模型

2.1 网络结构模型

根据利用 BP 神经网络的模式变换能力实现对工程图形数据的编码压缩需要，选择只需要一个隐层的三层前馈网络结构，如图 2 所示。

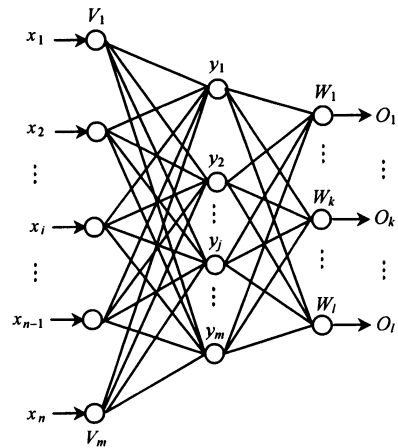


图 2 三层 BP 网

Fig.2 Tri-level BP net

2.2 网络数学模型

根据选择的三层前馈网络结构，为使数据在传输过程中安全，设密钥矩阵为 $P = (p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_m)^T$ ，其逆矩阵为 $P' = (p'_1, p'_2, \dots, p'_i, \dots, p'_m)^T$ 。密钥矩阵必须为非奇异阵，否则解压缩过程可能出现意想不到的结果。另外，为取得较好的加密结果可以采用某些特殊的稀疏阵。密钥矩阵可以通过一定的选择机制自动制定。网络数学模型^[5]为

输出层

$$O_k = f(\text{net}_k), k = 1, 2, \dots, l \quad (1)$$

$$\text{net}_k = \sum_{j=1}^m w_{jk} y_j p'_j, k = 1, 2, \dots, l \quad (2)$$

隐层

$$y_j = f(\text{net}_j), j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$\text{net}_j = \sum_{i=1}^n p_{ij} v_{ij} x_i, j = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

其中，转移函数 $f(x)$ 为单极性 Sigmoid 函数

$$f(x) = 1/(1 + e^{-x}) \quad (5)$$

三层前馈网的 BP 学习算法权值调整计算式为

$$\begin{aligned} \Delta w_{jk} &= \eta \delta_k^o p'_j y_j = \eta (d_k - O_k) O_k (1 - O_k) p'_j y_j, \\ \Delta v_{ij} &= \eta \delta_j^y p_{ij} x_i = \\ &\eta \left[\sum_{k=1}^l \delta_k^o w_{jk} \right] p'_j y_j (1 - p'_j y_j) p_{ij} x_i \end{aligned} \quad (6)$$

其中 $\delta_k^o = -\partial E/\partial \text{net}_k$, $\delta_j^y = -\partial E/\partial \text{net}_j$ 。

BP 算法中，各层权值调整公式形式上一样，均由三个因素决定，即学习率 η ，本层输出的误差信号 δ 以及本层输入信号 Y （或 X ）。

3 实例

从汽车蒙皮、发动机及成型模具图纸中选取了 168 张结构复杂的零部件生产图纸，在 MEM-250-II 型快速原型机上进行了模拟试验。

首先，由于所选图纸全部采用 AutoCAD 软件绘制，而 DWG 格式图只能使用 Autodesk 公司的绘图软件和某些兼容 DWG 文件格式的软件读取，尽管其存储量较小，但是使用时有一定的局限，也较繁琐。故先将 DWG 格式的图纸文件全部转换成可以直接在快速原型机上使用的图形格式。图形数据的存储方式和读取方式可采用数组形式自然有序地堆栈在内存的统一地址中，数据结构如图 3 所示。

然后，进行数据压缩和加密。选取学习率 $\eta = 0.9$ ，目标误差 $E = 0.000\ 005$ 。为克服标准 BP 网络易形成局部极小而得不到全局最优解及收敛速度慢等弊端，对上述方法略作改进，即在权值调整向量表达式中增加一项动量项 α ，增加动量项后，权值调整式为

$$\Delta w(t) = \eta \delta x + \alpha \Delta w(t-1) \quad (7)$$

选取动量项 $\alpha = 0.75$ 。在选出的图纸中遴选出涵盖全部可能图素的图纸 30 张作为样本，其中 15 个样本对网络进行训练，训练的过程实际上是将样本中的全部图素按照一定规则分成若干组（即图素分

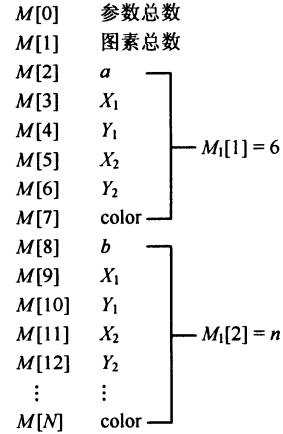


图 3 工程图形的数据结构

Fig.3 Data structure of engineering graphics

块)，每一组含有较少数量图素，但各组中的图素的数量、每个图素含有的参数个数以及图素的排列方式不同，再将这些组作为训练的基本单元；另 15 个样本对该网络进行性能测试，训练和测试交替进行。经过 2 267 次迭代，网络收敛达到设计要求，该网络泛化能力比较强。

为了考察加密的效果，采用了二种密钥机制。第一种机制，人为选取密钥进行试验，作为对比；第二种机制，由软件系统 ICS-1 根据预设的密钥矩阵生成规则自动生成密钥。为实现智能化，密钥矩阵生成规则如下：

1) 密钥矩阵为非奇异矩阵，按照非奇异矩阵的特性及验证方法建立。由于非奇异阵必然是满秩阵，生成矩阵时首先生成一个每行只有一个非零项的满秩阵，再依据下面的约束条件构造矩阵。

2) 密钥的项数由加密的数据决定。由于加密的数据量庞大，显然直接使用是不现实的，在实际操作时必须对其加以分块，再将各个数据块加密，否则将出现无穷大的数据爆炸。

3) 为提高效率，密钥用稀疏矩阵。

4) 为提高保密性，矩阵结构则根据排列组合的原则随机选取，避免出现规律性而易被破解；同时，矩阵的局部采用“紧密”形式，这样形成“外松内紧”的总体结构形式。

对比结果表明，系统按照密钥矩阵生成规则自动得到的密钥矩阵具有良好的特性和结构形式，与人为选取的密钥的特性和结果形式相当。最后，由统一地址中按传输协议进行数据的传递。

在模拟试验中，用于信息压缩、加密、传输和

接收的软件系统 ICS-1 使用 Visual C++6.0 编写, 用于实时数据拦截及获取的第三方探测程序用 C 语言编写。

试验中采用了局域网和广域网两种条件下的数据传输, 前者距离小于 1 000 m, 后者距离超过 25 km。通过测试, 局域网下, 经过 152.15 s 完成数据处理和传输, 加密可靠性为 95.27%; 广域网下, 用时 462.3 s, 加密可靠性达到 94.69%。在两种传输条件下, 接收端生成的图形与发送端传输的原始图形数据吻合程度较高, 图形尺寸及位移偏差不大于 0.000 1 mm。试验结果证明, 该方法满足实际使用要求, 可以实现工程数据的远程安全高效传输。

4 结论

针对数字化制造中工程图形数据的远程传输中存在的问题, 在采用工程图形的相关性参数数据结构处理图形的基础上, 应用建立的基于 BP 算法的

三层前馈网络工程图形数据远程高效安全传输模型同时进行编码压缩和加密, 不仅具备了灵活性, 而且在更加高效地完成图形的存储和传输的同时引入自加解密机制, 通过一次变换同时解决了压缩和加密, 为数字化制造中的远程数据传输提供了可靠、高效、智能化的数据处理方法。

参考文献

- [1] 张伯鹏. 数字化制造是先进制造技术的核心技术[J]. 制造业自动化, 2000, 22(2): 1~5
- [2] Foley J D(美), Van Dam F H. 计算机图形学原理及实践——C 语言描述 (英文版第 2 版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002
- [3] 李云飞, 姜晓峰. 计算机图形图像技术与应用教程[M]. 北京: 北京希望电子出版社, 2002
- [4] 沈伟烈. 计算机图形学[M]. 北京: 航空工业出版社, 1995
- [5] 韩力群. 神经网络理论、设计及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002

The Safe and Quick Long-Distance Transmission Method Based on BP Neural Net for Engineering Graphics Data

Qin Wei¹, Qin Shuyu²

(1. School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China; 2. Department of Electronics and Information, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China)

[Abstract] In the digital manufacturing, information circulation of engineering graphics can be realized in a short time by Internet inside enterprise and among enterprises. Manpower, material and financial resources are economized through the method and mistakes and redundancy of data obtained are also be cut down to maximum extent. Based on the characteristic of correlation of graphics' geometry elements, long-distance high efficiency and secure transmission of complex engineering graphics data is realized after parameter structure is built and data code compression and data encryption are put in practice at the same time by using BP algorithm of artificial neural network. Examples show that this method can be used in actual engineering.

[Key words] neural net; BP algorithm; correlation; encrypt; speed transmission; graphics data