**一种基于群集递归神经网络的分类方法**

**技术领域**

本发明提出一种基于群集递归神经网络的分类方法，涉及神经网络及强化学习等技术领域。

**技术背景**

人工智能领域的许多问题最终需要进行分类计算，最典型的就是图像识别。传统的分类算法有支持向量机和决策树等。这些算法都可以看作是监督学习，即通过输入数据及其对应的标签，利用求解给定的优化目标函数来寻找最佳分类面。此外，深度神经网络也可用于实现数据分类。深度神经网络往往会通过设定优化目标函数，利用误差反向传播算法来调整深度神经网络的参数，以达到利用该网络进行分类的目的。然而，误差反向传播算法需要计算复杂的函数梯度，并将误差的梯度值逐层传递，这一计算的复杂性导致很难在生物大脑中实现误差反向传播算法。因此，支持向量机和深度神经网络等这类通过监督学习来实现分类的方法被认为不具备生理学意义下的可行性，也就是说生物大脑可能采用了不同于监督学习的方法来实现分类计算。

一类通过奖励信号来实现分类的强化学习算法，被认为更具有生理学意义下的可行性，其主要的原因包括以下两个方面。第一个原因是强化学习不需要分类结果（数据对应的标签），而只需要分类结果是正确或者错误的反馈信号（以下简称奖励）。第二个原因是神经生理学的实验结果表明，奖励信号与中脑多巴胺神经元密切相关。尽管强化学习已经能成功的用于解决诸如围棋等复杂的决策任务，然而这类强化学习算法往往只专注于解决具体的工程问题，而忽略来其生理学意义下的可行性。

因此，本发明根据神经科学的最新研究成果，提出一个群集递归神经网络及应用奖励信号调制神经网络突触以实现分类的方法。该群集递归神经网络的结构包括若干簇，每一个簇由彼此递归联结的神经元构成，簇内神经元按胜者独享的方式进行计算。此外，通过基于奖励信号调制突触的学习算法来组合不同簇之间神经元的表达方式，从而实现分类计算。网络结构和学习算法不仅具备计算和实现简单的特点，还具备生理学意义下的可行性。通过在手写数字识别数据集对该方法的测试结果表明，该分类方法具备一定的通用性，且易于由硬件实现的特点。

**发明内容**

通过构建基于神经元簇的群集递归神经网络，将低维度的输入数据映射到高维的空间中，然后在高维空间经由胜者独享的方式来提取特征。本发明提出了群集递归神经网络来实现特征提取，并通过基于奖励信号调制神经网络输出的突触来完成分类的方法。

本发明解决其技术问题采用的技术方案是：

1. 一种基于神经元簇的群集递归神经网络，其特点在于构建具有神经元簇的高维递归层，神经元簇内按胜者独享的方式；输入层与输出层之间随机的稀疏连接，且该连接不具备可塑性；递归层与输出层之间的突触连接具备可塑性，由奖励信号进行调制。包括以下步骤：

1.1. 将待识别数据集按照标签分为训练集与测试集，预处理后转化为包含个神经元的一维列向量作为输入层。

1.2. 构建递归层，该层的神经元个数为*n*。将所有神经元随机划分成*k*个大小相同的簇，即每簇包含*n*/*k*个神经元，将神经元簇记为。神经元簇间的神经元相互没有连接，神经元簇内的神经元彼此相互连接。簇内神经元连接按照胜者独享的原则进行设计，即簇内的神经元根据其输入值的大小来决定该神经元是否发放，簇内神经元输入值最大的神经元将被激活，而簇内其它神经元都将处于静息状态。激活状态的神经元其输出取值为1，而静息状态神经元其输出取值为0。

1.3. 为了计算递归层每一个神经元的输入值，需要确定输入层与递归层之间的连接矩阵。输入神经元与递归神经元以概率相连，即它们之间的连接有90%的概率取值为0。这一特性使得连接矩阵是一个稀疏矩阵，也就是其中的元素值大多为0。而非0值则按照标准高斯分布（均值为0，方差为1）随机赋值。

有输入矩阵后，就可以计算递归层神经元的输入值。

1.4. 输出层表示类别，即其中的每一个神经元对应一类。如果需要将数据分为*l*类，则输出层有*l*个神经元，其输出表示为。

输出层与递归层的连接矩阵为，矩阵内每一元素按[0,1]之间的均匀分布随机赋值，这样输出**。**

输出层中只有一个神经元具备活性，该神经元对应于一个具体的类别。为了计算输出层各个神经元的输出值，先将输出层列向量中各个元素进行如下计算：

从而得到列向量，再取中最大值的索引得到，即为输入数据的列表编号。

输出层与递归层之间的连接具有可塑性，其调制方法由奖励信号确定。

2.一种应用于群集递归神经网络的学习算法，该算法按照奖励信号来调制连接矩阵中的各元素值，包括以下步骤：

2.1. 根据类别标签（如果有类，则）与神经网络的预测结果，计算奖励值，即：

2.2. 有了奖励之后，再根据值对输出层与递归层之间的连接矩阵调整权重，根据奖励奖励调制连接矩阵的方式如下：

其中为学习率，为递归层列向量的转置,为迭代次数。表示递归层和输出层之间的连接矩阵在次迭代时的第行向量。

2.3. 为了保持突触强度值的一致性，需要对连接矩阵进行如下计算：若矩阵中的某个值大于阈值，则认为该连接存在应赋值为1，否则应认为该连接不存在应赋值为0。由此得到更新后的连接矩阵：

本发明利用神经网络及强化学习技术，提出一种群集递归神经网络结构和一种基于奖励信号调制神经网络输出的突触来完成分类的学习算法。主要分成三步：首先，将待识别数据集按照标签分为训练集与测试集，预处理后形成输入向量；其次，构建一个基于神经元簇的群集递归神经网络用于形成具有稀疏表达的特征向量，簇内神经元按胜者独享的方式进行计算；最后，利用基于奖励信号调制的算法调整递归层与输出层之间的权重，从而形成成熟的分类器。

本发明的益处为：网络结构和学习算法具有构造简单，分类结果好，分类方法具备一定的通用性，且易于由硬件实现的特点。

**附图说明**

图 1 为基于神经元簇的群集递归神经网络结构示意图；

图 2 为基于神经元簇的群集递归神经网络训练流程示意图；

**具体实施方式**

本发明基于神经元簇的分类算法可应用于一般的分类任务，包括但不限于图像分类、文字分类和视频数据分类等。以下由特定的具体实施例说明本发明的实施方式，具备该技术的人士可按本说明书复现本发明所提出的方法。以手写数字识别为例，结合附图对本发明作进一步描述。

图1为本发明设计的基于神经元簇的群集递归神经网络结构，图2是基于神经元簇的群集递归神经网络训练流程示意图。下面将阐述具体的训练流程：

1. 初始化神经网络参数（图2标号1）。配置超参数，模型调优后具体数值设置如下表所示。

|  |  |
| --- | --- |
| 超参数名 | 数值 |
| 学习率 | 0.5 |
| 训练迭代次数 | 500 |
| 输入层神经元个数 | 2560 |
| 递归层神经元个数 | 100000 |
| 神经元簇个数 |  |
| 数据类别个数 | 10 |
| 稀疏矩阵筛选阈值 | 0.8 |
| Gabor滤波器带宽 |  |
| Gabor滤波器波长 | 2 |
| Gabor滤波器空间纵横比 | 0.5 |
| Gabor滤波器方向取值 |  |

2. 首先进行数据的预处理，如图2标号2所示的操作。将输入的图片数据最终转化为一维特征向量。

2.1. 在本例中将手写识别数字数据集MNIST从二进制格式转换成PNG格式的图片。将它们按照训练集或测试集进行划分，并且根据相应的数字标签进行分类放入对应的文件夹中备用。将每张图片处理成灰度图，最后转化成二维矩阵，矩阵的形状为。

2.2. 使用Gabor滤波器对二维图片矩阵进行特征提取。将输入矩阵缩放成8个不同大小的矩阵，代表8张缩放比例的图片。将相邻缩放比例的两张图片编成一组，最终生成4组。本发明一共采用了8个方向的Gabor滤波器进行滤波操作（，，，，，，和）。为整个滤波器的带宽，为波长，为空间纵横比，他们的具体取值在步骤1初始化神经网络参数时已经设定好。使用滤波操作，将输入维的图片转化为S1层特征矩阵。滤波器的构筑公式如下：

2.3. 对步骤2.2中S1层输出的每组中滤波器相同方向矩阵做最大池化操作，形成C1层特征矩阵。

2.4. 对步骤2.3中C1层输出的所有矩阵进行维度挤压操作，形成一个维的特征向量。

3. 构建群集递归神经网络，如图1所示。

3.1. 将步骤1预处理之后的一维特征向量命名为作为输入层，其中。

3.2. 构建递归层，该层的神经元个数为。将所有神经元随机划分成个大小相同的簇，即每簇包含*n*/*k*个神经元，将神经元簇记为。神经元簇间的神经元相互没有连接，神经元簇内的神经元彼此相互连接。簇内神经元连接按照胜者独享的原则进行设计，而簇内其它神经元都将处于静息状态。激活状态的神经元其输出取值为1，而静息状态神经元其输出取值为0。

3.3. 为了计算递归层每一个神经元的输入值，需要确定输入层与递归层之间的连接矩阵。输入神经元与递归神经元以概率相连，即它们之间的连接有90%的概率取值为0。中的元素值大多为0，非0值则按照标准高斯分布（均值为0，方差为1）随机赋值。

有输入矩阵后，就可以计算递归层神经元的输入值。

3.4. 输出层有个神经元，其输出表示为。

输出层与递归层的连接矩阵为，矩阵内每一元素按[0,1]之间的均匀分布随机赋值，这样输出**。**

输出层中只有一个神经元具备活性，该神经元对应于一个具体的类别。为了计算输出层各个神经元的输出值，先将输出层列向量中各个元素进行如下计算：

从而得到列向量，再取中最大值的索引得到，即为输入数据的列表编号。

4. 训练集中取预处理之后的一个特征向量输入神经网络得出预测结果。

5. 若循环训练的迭代次数到达预设的目标则停止训练，并将训练得出的连接权重矩阵和保存在本地（图2标号6）。若以上条件没有达到则利用奖励调制算法调整神经网络中间层和输出层的连接权重矩阵（图2标号5）。具体的调整方式如下：

5.1. 根据输入图片的类别标签（则）与神经网络的预测结果计算奖励，即：

5.2. 有了奖励之后，再根据值对输出层与递归层之间的连接矩阵调整权重，根据奖励奖励调制连接矩阵的方式如下：

其中为学习率，为递归层列向量的转置,为迭代次数。表示递归层和输出层之间的连接矩阵在次迭代时的第行向量。

5.3. 为了保持突触强度值的一致性，需要对连接矩阵进行如下计算：若矩阵中的某个值大于阈值，则认为该连接存在应赋值为1，否则应认为该连接不存在应赋值为0。阈值，即得到更新后的连接矩阵：

6. 如图2标号6所示当群集递归神经网络训练迭代结束之后，在本地会保存训练时的超参数配置和神经网络连接权重矩阵和，以便于测试神经网络预测准确率时加载和构建神经网络。