基于保结构算法的深度学习网络模型研究

刘章

摘　要

在物理实践中常常需要对未知系统进行系统辨识和预测，由于物理系统往往具有特殊的几何性质，这要求我们在进行系统辨识时需要关注这些物理规律. 为了在系统辨识中考虑到所辨识系统的特点，本论文提出了一类循环 RK 神经网络模型. 验证了它们不仅在哈密顿系统上表现出出色的辨识和长期预测能力，也适用于一般的未知系统，并且由于它们能够达到高阶的逼近精度，因此可以学习到更加精确的物理模型.

本论文主要有以下一些结果：对可分的哈密顿系统，提出了可自主学习的可分显式 SVNN 模型. 这个模型是将四阶前馈网络嵌入到满足辛条件的 Stömer-Verlet 格式中所得到的模型. 通过此模型学习相比与直接学习哈密顿系统对应辛流，其逼近原系统右端向量场的精度要高出一阶. 为了再次提高精度，我们提出了循环隐式 RKNN 模型，这个模型是通过把四阶前馈网络嵌入到一般隐式 Runge-Kutta 方法得到的结果. 当对哈密顿系统进行辨识和预测时，我们需要使用辛 RK 方法，但辛 RK 方法都是隐式方法. 为了避免求解隐式方程，我们在多个参数共享的前馈神经网络之间添加了循环连接，通过多次输入相同的训练点，从而代替了迭代求解的过程. 但如此一来，如果采用传统反向传播算法更新网络参数，其计算成本就会变得极高，因此我们提出了新的参数更新方法. 本文证明了循环 SRKNN 模型在整个训练过程中能够保持辛性质，同时它逼近原系统哈密顿量或右端向量场的精度依赖于其嵌入格式本身的精度.

在第四章中，我们研究了三类有代表性的具有结构特点的动力系统，并针对系统的结构特点提出了相应的系统识别方式，并通过模拟系统的解和守恒量验证了我们所提方法的有效性. 最后，提出了本文未来需要完善的工作.

关键词：哈密顿系统，保结构算法，神经网络，可分显式 SVNN 模型，循环隐式 RKNN 模型