

摘要

脉冲神经网络能够利用时空信息和稀疏事件驱动的信号处理技术，在神经形态硬件中具有广阔的应用前景。然而，由于二值激活函数的不可微特性，训练脉冲神经网络具有很大的挑战性。代理梯度方案缓解了训练问题，使脉冲神经网络和相同结构的人工神经网络具备相当的性能。代理梯度法的关键在于使用平滑的代理函数去得到近似的代理梯度，然而为了追求更高的模型性能，需要在更精确的梯度近似值和更充足的脉冲发放之间达到合适的折中。特别是对于更深的网络层次，需要仔细考虑这一问题。在人工神经网络中，批标准化技术极大提升了网络训练的效果。但是在脉冲神经网络中，由于额外的时间维度，批标准化技术并没有发挥突出的作用。此外，由于复杂的神经元动力学，此前的大多数脉冲神经网络学习方法都是局限于图像识别任务。考虑到未来在场景理解任务中部署脉冲神经网络的可能性，对分类以外场景的研究是必不可少的。本文针对激活驱动的脉冲神经网络反向传播学习算法进行了系统的研究，主要创新点如下：

1. 提出了可变超参数代理函数算法，该算法基于余弦退火算法生成超参数配置方案，使得网络在训练过程中能够利用更多的超参数取值。实验结果表明，该算法能够避免因使用不适当代理函数超参数而限制脉冲神经网络最终优化性能的问题。

2. 提出了时域批标准化算法，该算法通过在每个时间步上利用不同权重调整突触前输入，使得输入的时间分布变得更加平滑和均匀。在静态数据集和神经形态数据集上的实验结果表明，使用该算法的脉冲神经网络利用更少的时间步实现了优于目前最先进方法的实验结果，并且比其他的批标准化方法具有更好的超参数鲁棒性。

3. 设计并实现了一个基于激活驱动脉冲神经网络的语义分割系统。该系统基于人工神经网络两种经典的语义分割方法，结合可变超参数代理函数算法和时域批标准化算法进行训练，得到了使用脉冲神经元的语义分割网络。实验结果表明，该系统能够实现不亚于人工神经网络方法的语义分割性能，验证了脉冲神经网络在图像分类之外的场景中部署的可行性。

关键词：脉冲神经网络, 代理梯度, 批标准化, 时空信息表征, 语义分割