# 第九章 卷积神经网络

卷积网络 (LeCun, 1989), 也称卷积神经网络(CNNs), 是一种特殊的神经网络，这种网路可以处理具有一定网格拓扑结构的数据。比如时间序列，这种类型的数据可以看作是在一定的时间间隔就有新数据产生的一维网格数据；图像，这种数据可以看作由像素构成的二维网格。卷积网络已经成功地用于大量实际应用中。卷积神经网络这个名字意味着网络中应用了卷积这种数学算子。卷积是一种特殊的线性算子。卷积网络是一种简单的神经网络，它在至少一层中应用卷积算子代替了一般的矩阵相乘。

本章中，首先描述什么是卷积。然后，解释在神经网络中引入卷积的背景。还有描述称为池化的操作算子，这种算子几乎所有卷积网络都会用到。通常，卷积神经网络中的卷积算子跟其他领域如工程或纯数学中定义的卷积并不完全对应。一些在神经网络中广泛应用的卷积函数的变体都会加以描述，也会展示卷积如何用于多种类型的数据中，这些数据具有不同的维数。还会讨论如何使得卷积算子更高效。卷积网络作为一个神经科学影响深度学习的例子脱颖而出。这些神经科学定律都会得到讨论，并且会阐释卷积网络在深度学习发展的历史过程中所起的作用。本章中不会讨论如何选择卷积网络的架构这个话题。本章的目标在于阐释卷积网络所提供的各种各样的工具，第十一章将会阐释在不同场景如何选择不同的工具。卷积网络的结构方面的研究发展非常迅速，对于某个给定的基准问题，新的最好的结构在几周到几月之间就会得以公布，所以描述已经发布的最好的结构没有使用意义。然而，最优的结构都是由本章所阐述的堆叠单元构成的。

## 9.1 卷积算子

卷积算子最一般的形式是对两个实变量函数的操作。为引入卷积算子的定义，我们以两个可能用到的函数为例。

假设问题是要追踪带有激光传感器的宇航飞船的位置，即通过激光传感可以得到时刻  宇宙飞船对应的唯一输出 。其中 和 都是实数，在每个时刻都可以从传感器中得到不同的读数。

现在假设激光传感器具有一定程度的噪声，为使所得宇宙飞船的位置估计具有更少的噪声，我们可以多测几组数据然后取均值。理所当然的，所测数据的时间越接近当前时间相关性就越强，因此，距离当前时间越近的数据所对应的权重越大。为此，可以借助于加权函数 ，其中 是测量数据的寿命。如果对每个时刻加入一个加权平均算子，可以得到一个新的函数，这个函数是对宇宙飞船位置的平滑估计：

(9.0.1)

这个算子就是卷积算子。卷积算子通常用 来表示：

0.2

在我们的例子中， 需是一个有效的概率密度函数，否则输出并不是加权平均。并且，如果参数是负的，相应的 应该为0，否则相应的数据就是将来的数据，这种数据我们是获取不到的。这些限制条件都是这个例子的特殊性导致的。通常，卷积的定义中上述积分中的函数可以是任意函数，并且除了加权平均之外针对不同情形还可以进行其他操作。

在卷积网络中，卷积中的第一个参数（该例中的函数 ）通常是输入，第二个参数（该例中的函数 ）称为核。输出有时称作特征映射。