2.感知机

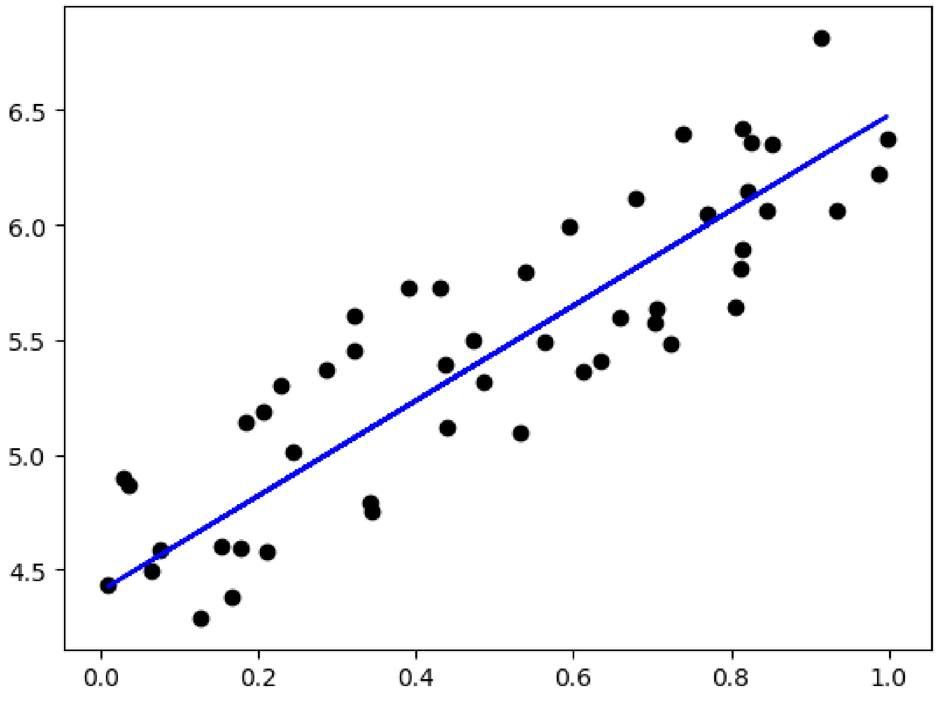
- 感知机：二类分类的线性分类模型，对应于输入空间中将实例划分为正负两类的分离超平面，属于判别模型。
- 输入：实例的特征向量。
- 输出：实例的类别。
- 模型选择：使用梯度下降法对损失函数进行极小化。
- 形式：原始和对偶。

2.1 感知机模型

- 模型：二类分类的线性分类模型，属于判别模型。
- 假设空间：定义在特征空间中的所有线性分类模型或者线性分类器，即$F=\{f|f(x)=wx+b\}$
- 符号说明：
  - 输入空间为$X\subseteq\mathbb{R}^n$，输入实例为$x\in X$
  - 输出空间为$Y=\{+1,-1\}$，实例类别为$y\in Y$
  - 感知机参数：权值为$w\in\mathbb{R}^n$，偏置为$b\in\mathbb{R}$
  - 符号函数为$sign$
- 感知机函数

$$f(x)=\operatorname{sign}(w\cdot x+b)$$
$$\operatorname{sign}(x)=\begin{cases}+1, & x\geqslant 0\\ -1, & x<0\end{cases}$$

- 几何解释：感知机是线性方程$w\cdot x+b=0$对应于特征空间$\mathbb{R}^n$中的一个超平面S，其中w是超平面的法向量，b是超平面的截距。



2.2感知机学习策略

1.数据集的线性可分性

存在超平面S将数据集的正实例点和负实例点完全正确的划分到超平面的两侧。

2.感知机学习策略

- 学习策略：在线性分类器的假设空间中选择使损失函数最小的模型参数。
- 选择损失函数：
  - 误分类点的总数。——不是关于参数的连续可导函数，不易优化。
  - 误分类点到超平面S的总距离。——是关于参数的连续可导函数，容易优化。
- 损失函数：误分类点到超平面S的距离$-\frac{y_i(w \cdot x_i+b)}{\|w\|}$。
- 输入空间R^n中任意一点x_0到超平面S的距离为$\frac{|w \cdot x_0+b|}{\|w\|}$
- 为什么误分类样本(x_i, y_i)要满足$-y_i\left(w \cdot x_i+b\right)>0$或者$y_i\left(w \cdot x_i+b\right)<0$?

$$当 w \cdot x_i+b>0, y_i=-1 时表示将负类预测为正类。$$
$$当 w \cdot x_i+b<0, y_i=+1 时表示将正类预测为负类。$$
$$误分类样本=将正类预测为负类+将负类预测为正类。$$

- 为什么误分类点x_i到超平面S的距离是$-\frac{y_i(w \cdot x_i+b)}{\|w\|}$?

$$任意一点 x_0 到超平面 S 的距离为 \frac{|w \cdot x_0+b|}{\|w\|}$$
$$|y_0|=1$$
$$|w \cdot x_0+b|=|y_0||w \cdot x_0+b|=|y_0(w \cdot x_0+b)|$$
$$误分类点满足 y_0(w \cdot x+b)<0$$
$$所以 d=-\frac{y_i\left(w \cdot x_i+b\right)}{\|w\|}$$

- 误分类点到超平面S的总距离为$-\frac{1}{\|w\|} \sum_{x_i \in M} y_i\left(w \cdot x_i+b\right)$，其中$M$为超平面$S$的误分类点集合。
- 经验风险函数/损失函数：$L(w, b)=-\sum_{x_i \in M} y_i\left(w \cdot x_i+b\right)$

2.3 感知机学习算法

- 感知机学习问题转化为求损失函数的最优化问题。
- 最优化方法：随机梯度下降，批量梯度下降、小批量梯度下降。

1.感知机学习算法的原始形式

- 随机梯度下降法：首先任意选取一个超平面w_0, b_0，然后用梯度下降法不断极小化目标函数，极小化过程一次随机选取一个误分类点使其梯度下降。

```
输入:
线性可分训练集T={(x[1],y[1]),(x[2],y[2]),...,(x[N],y[N])};
学习率0<eta<=1;
x[i]是n维向量;
y[i]={-1,+1}.

输出:
参数w,b
感知机模型f(x[i])=sign(w*x[i]+b)

1.选取初值w[n]=0,b=0;
2.在训练集中选取数据(x[i],y[i]);
3.如果y[i]*(w*x[i]+b)<=0
    w=w+eta*y[i]*x[i]
    b=b+eta*y[i]
4.转到第2步,直到训练集中没有误分类点.
```

说明：感知机学习算法采用不同的初值或者选取不同的误分类点，解可以不同。

2.算法的收敛性

可以证明对于线性可分数据集感知机学习算法原始形式收敛。

3.感知机学习算法的对偶形式

- 对偶形式：将w和b表示为实例x_i和标签y_i的线性组组合的形式，通过求解其系数a求得w和b。

```
输入:
线性可分训练集T={(x[1],y[1]),(x[2],y[2]),...,(x[N],y[N])};
学习率0<eta<=1;
x[i]是n维向量;
y[i]={-1,+1}.

输出:
参数w,b
感知机模型f(x[i])=sign(np.dot(a*y,x)*x[i]+b)
a是N维向量。

1.初始化a[N]=0,b=0;
2.在训练集中选取数据(x[i],y[i])
3.如果y[i]*(sum(a,y,x)*x[i]+b)<=0
    a[i]=a[i]+eta;
    b=b+eta*y[i];
4.转到第2步，直到训练集中没有误分类点。

说明:np.dot(a*y,x)*x[i]可以转化为np.dot(a*y,G[i,:]),即将内积转化为gram矩阵存储。
```

说明：原始形式每次参数更新前的判断中的$sum(a, y, x) * x[i]$需要计算n次乘法(n是一个实例的维数)，对偶形式提前将gram矩阵计算并存储，每次更新前的判断省掉了n次乘法。

4.证明感知机为什么不能表示异或

$$\text{假设感知机可以表示异或，设一个实例} x = (x^{(1)}, x^{(2)}), \text{相同标签为 } -1\text{，相异标签为 } +1\text{。}$$
$$\text{设} x^{(1)} = 0, x^{(2)} = 0, f(x) = sign(b) = -1\text{，所以} b < 0 \text{①}$$
$$\text{设} x^{(1)} = 1, x^{(2)} = 1, f(x) = sign(w^{(1)} + w^{(2)} + b) = -1\text{，所以} w^{(1)} + w^{(2)} + b < 0 \text{②}$$
$$\text{设} x^{(1)} = 1, x^{(2)} = 0, f(x) = sign(w^{(1)} + b) = 1\text{，所以} w^{(1)} + b \geq 0 \text{③}$$
$$\text{设} x^{(1)} = 0, x^{(2)} = 1, f(x) = sign(w^{(2)} + b) = 1\text{，所以} w^{(2)} + b \geq 0 \text{④}$$
$$\text{因为③} + \text{④} - \text{①} = w^{(1)} + w^{(2)} + b > 0 \text{与②矛盾，所以感知机不能表示异或。}$$