

(十三) 通俗易懂理解——Adaboost算法原理



梦里寻梦

Future has arrived. It commences now.

关注他

已赞同 704



分享

703 人赞同了该文章

看了一堆的博客，都很难找到能够综合起来完全理解这个原理，直到这位博主文章的出现……不多说了，直接上。

本博客将会详细介绍AdaBoost算法过程，并给出了一个Adaboost例子的详细求解过程，当然也给出了Matlab代码求解过程。碍于太多复杂公式，文章是在电脑Word文档写好再复制上博客的，为了排版好看，有些地方给出了截图。

下面给出几个我认为不错的博客资料：

【1】blog.csdn.net/v_july_v/...感谢这位博主给出了 Adaboost 算法的原理与推导，本文章很多地方都参考了他的内容

【2】blog.csdn.net/m0_37407777...该博客有一个Adaboost 算法的例子，但其过程简略太多，初学者很难看懂。本文章的Adaboost 算法例子也是与之相对应的，但本人给出了详细的步骤和分析过程。话说，图都是我一个一个画上去，心疼我用了两天时间！！

一、AdaBoost简介

Boosting, 也称为增强学习或提升法，是一种重要的集成学习技术，能够将预测精度仅比随机猜测略高的弱学习器增强为预测精度高的强学习器，这在直接构造强学习器非常困难的情况下，为学习算法的设计提供了一种有效的新思路和新方法。其中最为成功应用的是，Yoav Freund和Robert Schapire在1995年提出的AdaBoost算法。

AdaBoost是英文"Adaptive Boosting"（自适应增强）的缩写，它的自适应在于：前一个基本分类器被错误分类的样本的权值会增大，而正确分类的样本的权值会减小，并再次用来训练下一个基本分类器。同时，在每一轮迭代中，加入一个新的弱分类器，直到达到某个预定的足够小的错误率或达到预先指定的最大迭代次数才确定最终的强分类器。

Adaboost算法可以简述为三个步骤：

(1) 首先，是初始化训练数据的权值分布 D_1 。假设有 N 个训练样本数据，则每一个训练样本最开始时，都被赋予相同的权值： $w_1=1/N$ 。

(2) 然后，训练弱分类器 h_i 。具体训练过程中是：如果某个训练样本点，被弱分类器 h_i 准确地分类，那么在构造下一个训练集中，它对应的权值要减小；相反，如果某个训练样本点被错误分类，那么它的权值就应该增大。权值更新过的样本集被用于训练下一个分类器，整个训练过程如此迭代地进行下去。

(3) 最后，将各个训练得到的弱分类器组合成一个强分类器。各个弱分类器的训练过程结束后，加大分类误差率小的弱分类器的权重，使其在最终的分类函数中起着较大的决定作用，而降低分类误差率大的弱分类器的权重，使其在最终的分类函数中起着较小的决定作用。

换言之，误差率低的弱分类器在最终分类器中占的权重较大，否则较小。

二、AdaBoost算法过程

给定训练数据集： $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ ，其中 y_i 属于 $\{1, -1\}$ 用于表示训练样本的类别标签， $i=1, \dots, N$ 。Adaboost的目的就是从训练数据中学习一系列弱分类器或基本分类器，然后将这些弱分类器组合成一个强分类器。

相关符号定义：

$D_t(i)$ ：训练样本集的权值分布；

w_i ：每个训练样本的权值大小；

h ：弱分类器，

H ：基本分类器；

H_{final} ：最终的强分类器

e ：误差率；

α_t ：弱分类器的

已赞同 704

41 条评论

分享

取消喜欢

收藏

申请转载

...

(1) 首先，初始化训练数据的权值分布。每一个训练样本最开始时都被赋予相同的权值： $w_i=1/N$ ，这样训练样本集的初始权值分布 $D_1(i)$ ：

$$D_1(i) = (w_1, w_2, \dots, w_N) = (\frac{1}{N}, \dots, \frac{1}{N})$$

已赞同 704

(2) 进行迭代 $t=1, \dots, T$

(a) 选取一个当前误差率最低的弱分类器 h 作为第 t 个基本分类器 H_t ，并计算弱分类器 $h_t: X \rightarrow \{-1, 1\}$ ，该弱分类器在分布 D_t 上的误差为：

$$e_t = P(H_t(x_i) \neq y_i) = \sum_{i=1}^N w_{ti} I(H_t(x_i) \neq y_i)$$

PS：由上述式子可知， $H_t(x)$ 在训练数据集上的误差率 e_t 就是被 $H_t(x)$ 误分类样本的权值之和。

(b) 计算该弱分类器在最终分类器中所占的权重（弱分类器权重用 α 表示）：

$$\alpha_t = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1-e_t}{e_t} \right)$$

(c) 更新训练样本的权值分布 D_{t+1} ：

$$D_{t+1} = \frac{D_t(i) \exp(-\alpha_t y_i H_t(x_i))}{Z_t}$$

其中 Z_t 为归一化常数 $Z_t = 2\sqrt{e_t(1-e_t)}$

知乎 @梦里寻梦

(3) 最后，按弱分类器权重 α 组合各个弱分类器，即

$$f(x) = \sum_{t=1}^T \alpha_t H_t(x)$$

通过符号函数 sign 的作用，得到一个强分类器为：

$$H_{\text{final}} = \text{sign}(f(x)) = \text{sign} \left(\sum_{t=1}^T \alpha_t H_t(x) \right)$$

知乎 @梦里寻梦

相关说明：

因为权重更新依赖于 α ，而 α 又依赖于误差率 e ，所以我们可以直接将权重更新

公式用 e 表示。样本权重更新公式： $D_{t+1}(i) = \frac{D_t(i) \exp(-\alpha_t y_i H_t(x_i))}{Z_t}$ ，其中

$$Z_t = 2\sqrt{e_t(1-e_t)}$$

(1) 当样本分错时， $y_i H_t(x_i) = -1$

$$D_{t+1}(i) = \frac{D_t(i)}{Z_t} \exp(\alpha_t) = \frac{D_t(i)}{Z_t} \exp\left(\frac{1}{2} \ln\left(\frac{1-e_t}{e_t}\right)\right) = \frac{D_t(i)}{Z_t} \sqrt{\frac{1-e_t}{e_t}} = \frac{D_t(i)}{2\sqrt{e_t(1-e_t)}} \sqrt{\frac{1-e_t}{e_t}} = \frac{D_t(i)}{2e_t}$$

(2) 当样本分对时， $y_i H_t(x_i) = 1$

$$D_{t+1}(i) = \frac{D_t(i)}{Z_t} \exp(-\alpha_t) = \frac{D_t(i)}{Z_t} \exp\left(-\frac{1}{2} \ln\left(\frac{1-e_t}{e_t}\right)\right) = \frac{D_t(i)}{Z_t} \sqrt{\frac{e_t}{1-e_t}} = \frac{D_t(i)}{2\sqrt{e_t(1-e_t)}} \sqrt{\frac{e_t}{1-e_t}} = \frac{D_t(i)}{2(1-e_t)}$$

综合上面的推导，可得样本分错与分对时，其权值更新的公式为：

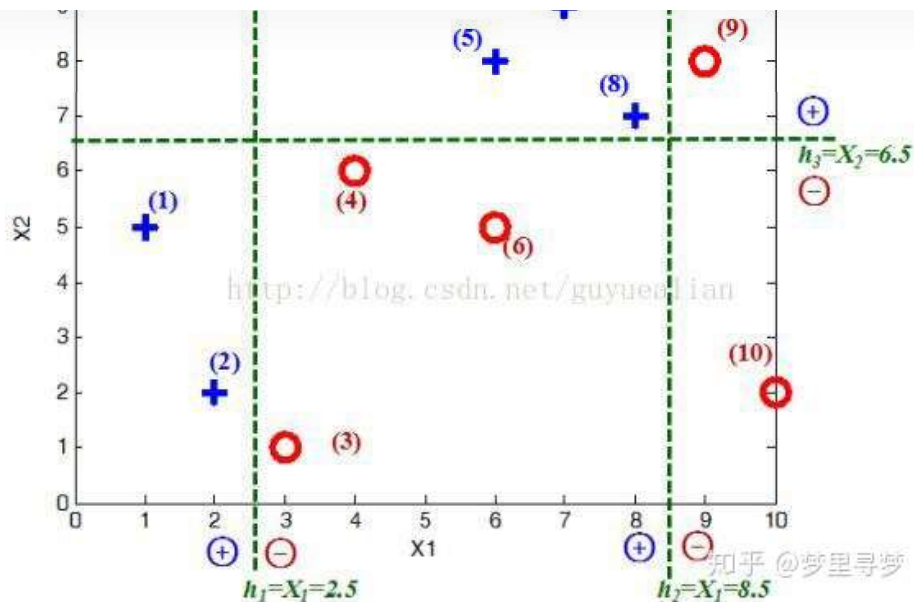
$$\text{错误分类样本，权值更新：} D_{t+1}(i) = \frac{D_t(i)}{2e_t}$$

$$\text{正确分类样本，权值更新：} D_{t+1}(i) = \frac{D_t(i)}{2(1-e_t)}$$

知乎 @梦里寻梦

三、AdaBoost实例讲解

例：给定如图所示的训练样本，弱分类器采用平行于坐标轴的直线，用Adaboost算法的实现强分类过程。



已赞同 704

数据分析:

将这10个样本作为训练数据，根据 X 和 Y 的对应关系，可把这10个数据分为两类，图中用 “+” 表示类别1，用 “O” 表示类别-1。本例使用水平或者垂直的直线作为分类器，图中已经给出了三个弱分类器，即：

$$h_1 = \begin{cases} 1, & X_1 < 2.5 \\ -1, & X_1 > 2.5 \end{cases}, \quad h_2 = \begin{cases} 1, & X_1 < 8.5 \\ -1, & X_1 > 8.5 \end{cases}, \quad h_3 = \begin{cases} 1, & X_2 > 6.5 \\ -1, & X_2 < 6.5 \end{cases}$$

初始化:

首先需要初始化训练样本数据的权值分布，每一个训练样本最开始时都被赋予相同的权值： $w_i = 1/N$ ，这样训练样本集的初始权值分布 $D_1(i)$ ：

令每个权值 $w_i = 1/N = 0.1$ ，其中， $N = 10$ ， $i = 1, 2, \dots, 10$ ，然后分别对于 $t = 1, 2, 3, \dots$ 等值进行迭代（ t 表示迭代次数，表示第 t 轮），下表已经给出训练样本的权值分布情况：

样本序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
样本点 X	(1,5)	(2,2)	(3,1)	(4,6)	(6,8)	(6,5)	(7,9)	(8,7)	(9,8)	(10,2)
类别 Y	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1
权值分布 D_t	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

第1次迭代 $t=1$:

初试的权值分布 D_1 为 $1/N$ （10个数据，每个数据的权值皆初始化为0.1），

$$D_1 = [0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1]$$

在权值分布 D_1 的情况下，取已知的三个弱分类器 h_1 、 h_2 和 h_3 中误差率最小的分类器作为第1个基本分类器 $H_1(x)$ （三个弱分类器的误差率都是0.3，那就取第1个吧）

$$H_1 = \begin{cases} 1, & X_1 < 2.5 \\ -1, & X_1 > 2.5 \end{cases}$$

PS：某个分类器的误差率等于该分类器的被错分类样本的权值之和

在分类器 $H_1(x) = h_1$ 情况下，样本点 “5 7 8” 被错分，因此基本分类器 $H_1(x)$ 的误差率为：

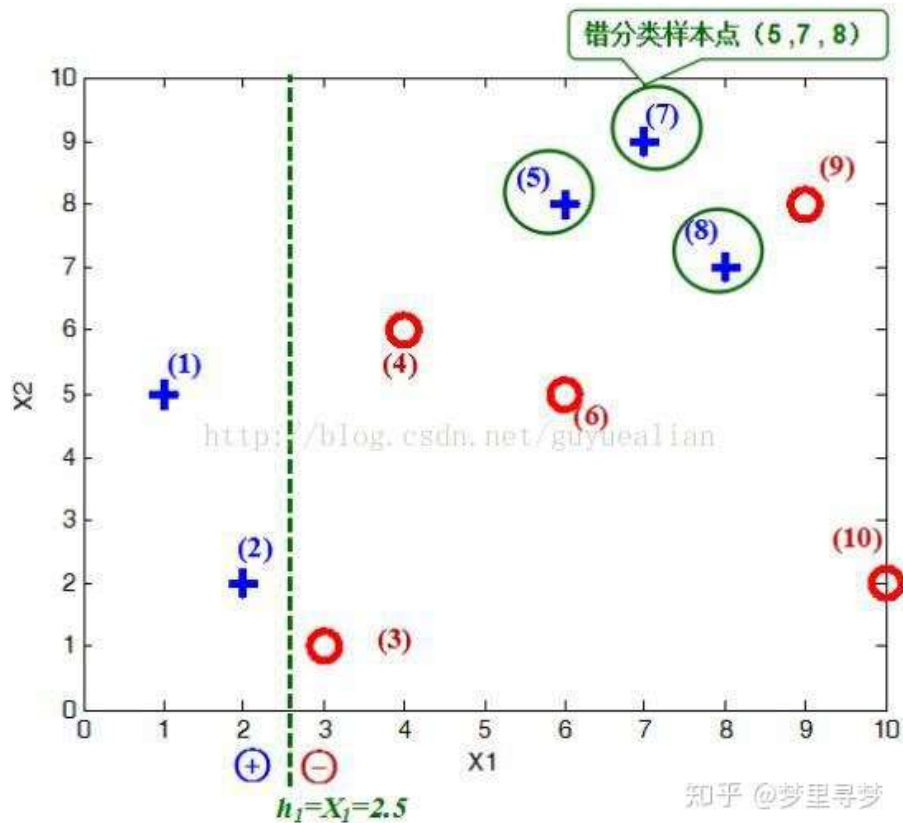
根据误差率 e_1 计算 H_1 的权重:

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{1-e_1}{e_1}\right) = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{1-0.3}{0.3}\right) = 0.4236$$

PS: 这个 α_1 代表 $H_1(x)$ 在最终的分类函数中所占的权重为 0.4236

可见, 被误分类样本的权值之和影响误差率 e , 误差率 e 影响基本分类器在最终分类器中所占的权重 α 。

已赞同 704



然后, 更新训练样本数据的权值分布, 用于下一轮迭代, 对于正确分类的训练样本 “1 2 3 4 6 9 10” (共7个) 的权值更新为:

$$D_2 = \frac{D_1}{2(1-e_1)} = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2 \times (1-0.3)} = \frac{1}{14}$$

PS: 可见, 正确分类的样本的权值由原来 1/10 减小到 1/14。

对于所有错误分类的训练样本 “5 7 8” (共3个) 的权值更新为:

$$D_2(i) = \frac{D_1(i)}{2e_1} = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2 \times 0.3} = \frac{1}{6}$$

PS: 可见, 错误分类的样本的权值由原来 1/10 增大到 1/6。

这样, 第1轮迭代后, 最后得到各个样本数据新的权值分布:

$$D_2 = [1/14, 1/14, 1/14, 1/14, 1/6, 1/14, 1/6, 1/6, 1/14, 1/14]$$

由于样本数据 “5 7 8” 被 $H_1(x)$ 分错了, 所以它们的权值由之前的0.1增大到1/6; 反之, 其它数据皆被分正确, 所以它们的权值皆由之前的0.1减小到1/14, 下表给出了权值分布的变换情况:

类别 Y	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1
权值分布 $D1$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
权值分布 $D2$	1/14	1/14	1/14	1/14	1/6	1/14	1/6	1/6	1/14	1/14
$sign(f_1(x))$	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

被 $H_1(x)$ 分错的样本

已赞同 704

PS: 用浅绿色底纹标记的表格, 是被 $H_1(x)$ 分错的样本“5 7 8”; 没有底纹(白色的)是正确分类的样本

可得分类函数: $f_1(x) = \alpha_1 H_1(x) = 0.4236 H_1(x)$ 。此时, 组合一个基本分类器 $sign(f_1(x))$ 作为强分类器在训练数据集上有3个误分类点(即5 7 8), 此时强分类器的训练误差为: 0.3

第二次迭代 $t=2$:

在权值分布 $D2$ 的情况下, 再取三个弱分类器 h_1 、 h_2 和 h_3 中误差率最小的分类器作为第2个基本分类器 $H_2(x)$:

① 当取弱分类器 $h_1 = X_1 = 2.5$ 时, 此时被错分的样本点为“5 7 8”:

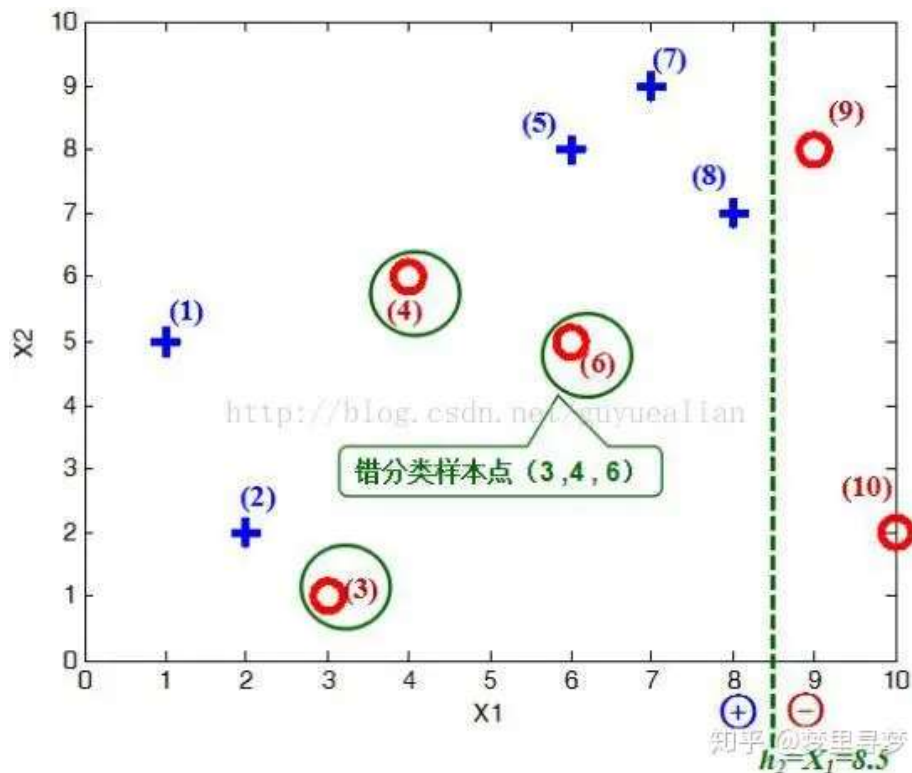
误差率 $e = 1/6 + 1/6 + 1/6 = 3/6 = 1/2$;

② 当取弱分类器 $h_2 = X_1 = 8.5$ 时, 此时被错分的样本点为“3 4 6”:

误差率 $e = 1/14 + 1/14 + 1/14 = 3/14$;

③ 当取弱分类器 $h_3 = X_2 = 6.5$ 时, 此时被错分的样本点为“1 2 9”:

误差率 $e = 1/14 + 1/14 + 1/14 = 3/14$;



因此, 取当前最小的分类器 h_2 作为第2个基本分类器 $H_2(x)$

$$H_2 = \begin{cases} 1, & X_1 < 8.5 \\ -1, & X_1 > 8.5 \end{cases}$$

显然, $H_2(x)$ 把样本“3 4
 $D2(6) = 1/14$, 所以 $H_2(x)$

根据误差率 e_2 计算 H_2 的权重:

$$\alpha_2 = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{1-e_2}{e_2}\right) = 0.6496$$

更新训练样本数据的权值分布, 对于正确分类的样本权值更新为:

$$D_3(i) = \frac{D_2(i)}{2(1-e_2)} = \frac{7}{11} D_2(i),$$

对于错误分类的权值更新为:

$$D_3(i) = \frac{D_2(i)}{2e_2} = \frac{7}{3} D_2(i)$$

知乎 @梦里寻梦

已赞同 704

这样, 第2轮迭代后, 最后得到各个样本数据新的权值分布:

$D_3 = [1/22, 1/22, 1/6, 1/6, 7/66, 1/6, 7/66, 1/6, 7/66, 1/22, 1/22]$

下表给出了权值分布的变换情况:

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
样本点 X	(1,5)	(2,2)	(3,1)	(4,6)	(6,8)	(6,5)	(7,9)	(8,7)	(9,8)	(10,2)
类别 Y	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1
权值分布 D_1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
权值分布 D_2	1/14	1/14	1/14	1/14	1/6	1/14	1/6	1/6	1/14	1/14
$sign(f_1(x))$	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
权值分布 D_3	1/22	1/22	1/6	1/6	7/66	1/6	7/66	7/66	1/22	1/22
$sign(f_2(x))$	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1

被 $H_2(x)$ 分错的样本

可得**分类函数**: $f_2(x) = 0.4236H_1(x) + 0.6496H_2(x)$ 。此时, 组合两个基本分类器 $sign(f_2(x))$ 作为强分类器在训练数据集上有3个误分类点 (即3 4 6), 此时强分类器的训练错误为: 0.3

第三次迭代 $t=3$:

在权值分布 D_3 的情况下, 再取三个弱分类器 h_1 、 h_2 和 h_3 中误差率最小的分类器作为第3个基本分类器 $H_3(x)$:

① 当取弱分类器 $h_1 = X_1 = 2.5$ 时, 此时被错分的样本点为 "5 7 8":

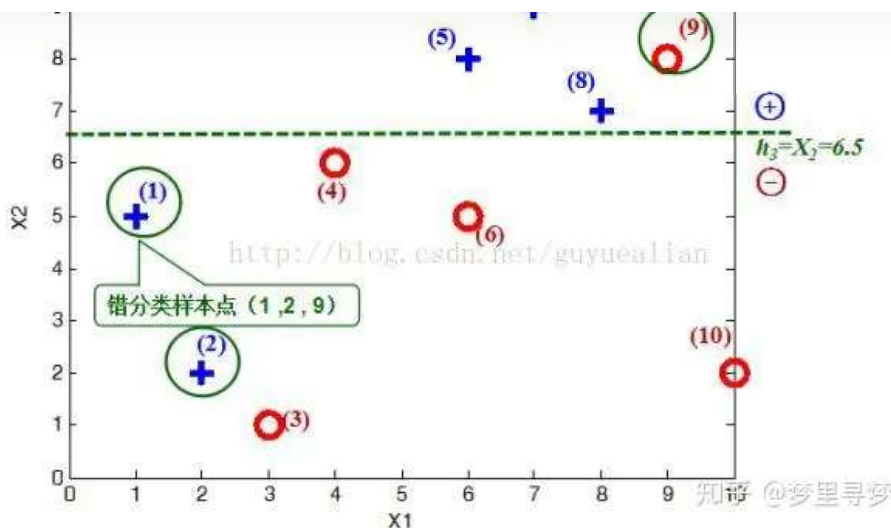
误差率 $e = 7/66 + 7/66 + 7/66 = 7/22$;

② 当取弱分类器 $h_2 = X_1 = 8.5$ 时, 此时被错分的样本点为 "3 4 6":

误差率 $e = 1/6 + 1/6 + 1/6 = 1/2 = 0.5$;

③ 当取弱分类器 $h_3 = X_2 = 6.5$ 时, 此时被错分的样本点为 "1 2 9":

误差率 $e = 1/22 + 1/22 + 1/22 = 3/22$;



已赞同 704

因此，取当前最小的分类器 h_3 作为第3个基本分类器 $H_3(x)$ ：

$$H_3(x) = \begin{cases} 1, & X_2 > 6.5 \\ -1, & X_2 < 6.5 \end{cases}$$

此时被 $H_3(x)$ 误分类的样本是“1 2 9”，根据 D_3 可知它们的权值为 $D_3(1)=1/22$ ， $D_3(2)=1/22$ ， $D_3(9)=1/22$ ，所以 $H_3(x)$ 在训练数据集上的误差率：

$$e_3 = P(H_3(x_i) \neq y_i) = 3 \times \frac{1}{22} = \frac{3}{22} \quad (\text{即权值之和})$$

根据误差率 e_3 计算 H_3 的权重：

$$\alpha_3 = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1-e_3}{e_3} \right) = 0.9229$$

更新训练样本数据的权值分布，对于正确分类的样本权值更新为：

$$D_4(i) = \frac{D_3(i)}{2(1-e_3)} = \frac{11}{19} D_3(i)$$

对于错误分类的权值更新为：

$$D_4(i) = \frac{D_3(i)}{2e_3} = \frac{11}{3} D_3(i)$$

这样，第3轮迭代后，得到各个样本数据新的权值分布为：

$$D_4 = [1/6, 1/6, 11/114, 11/114, 7/114, 11/114, 7/114, 7/114, 1/6, 1/38]$$

下表给出了权值分布的变换情况：

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
样本点 X	(1,5)	(2,2)	(3,1)	(4,6)	(6,8)	(6,5)	(7,9)	(8,7)	(9,8)	(10,2)
类别 T	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1
权值分布 D_1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
权值分布 D_2	1/14	1/14	1/14	1/14	1/6	1/14	1/6	1/6	1/14	1/14
$\text{sign}(f_1(x))$	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
权值分布 D_3	1/22	1/22	1/6	1/6	7/66	1/6	7/66	7/66	1/22	1/22
$\text{sign}(f_2(x))$	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1
权值分布 D_4	1/6	1/6	11/114	11/114	7/114	11/114	7/114	7/114	1/6	1/38
$\text{sign}(f_3(x))$	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1

可得分类函数： $f_3(x) = 0.4236H_1(x) + 0.6496H_2(x) + 0.9229H_3(x)$ 。此时，组合三个基本分类器 $\text{sign}(f_3(x))$ 作为强分类器，在训练数据集上有0个误分类点。至此，整个训练过程结束。

整合所有分类器，可得最终的强分类器为：

$$H_{\text{final}} = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^T \alpha_i H_i(x) \right) = \text{sign}(0.4236H_1(x) + 0.6496H_2(x) + 0.9229H_3(x))$$

这个强分类器 H_{final} 对训

优点

(1) Adaboost提供一种框架，在框架内可以使用各种方法构建子分类器。可以使用简单的弱分类器，不用对特征进行筛选，也**不存在过拟合的现象**。

已赞同 704

(2) Adaboost算法不需要弱分类器的先验知识，最后得到的强分类器的分类精度依赖于所有弱分类器。无论是应用于人造数据还是真实数据，Adaboost都能显著的提高学习精度。

(3) Adaboost算法不需要预先知道弱分类器的错误率上限，且最后得到的强分类器的分类精度依赖于所有弱分类器的分类精度，可以深挖分类器的能力。Adaboost可以根据弱分类器的反馈，自适应地调整假定的错误率，执行的效率高。

(4) Adaboost对同一个训练样本集训练不同的弱分类器，按照一定的方法把这些弱分类器集合起来，构造一个分类能力很强的强分类器，即“三个臭皮匠赛过一个诸葛亮”。

缺点：

在Adaboost训练过程中，Adaboost会使得难于分类样本的权值呈指数增长，训练将会过于偏向这类困难的样本，导致Adaboost算法易受噪声干扰。此外，Adaboost依赖于弱分类器，而弱分类器的训练时间往往很长。

Adaboost算法的某些特性是非常好的，这里主要介绍Adaboost的两个特性。(1) 是训练的错误率上界，随着迭代次数的增加，会逐渐下降；(2) 是Adaboost算法即使训练次数很多，也不会出现过拟合的问题。

如果有不懂的地方，欢迎咨询：



梦里寻梦

3 次咨询 ★★★★★ 5.0

8415 次赞同

[去咨询 >](#)

原文博文文章：blog.csdn.net/guyuealia...

优秀博文：cnblogs.com/willnote/p/...

优秀博文：blog.csdn.net/v_july_v/...

编辑于 2022-03-21 19:45

[机器学习](#) [数学](#) [集成学习](#)



发布一条带图评论吧

41 条评论

默认 最新



来福

这是CSDN上的文章呀



2020-12-08

回复 6



音频怪物

通俗易懂



吴昌尔

通俗易懂

2019-12-12

● 回复 ● 4



咸鱼

我就想知道那些参数为啥这样设置，怎么都不去讲这个

2021-11-13

● 回复 ● 2



李凡

我也想知道

2022-06-14

● 回复 ● 喜欢



魔术杂啊技

Adaboost的每个弱分类器的确定准则一定都是分类误差率最小吗？假如我不选择这个准则，比如用均方误差或者交叉熵误差或者其他的准则来对样本进行学习，得到弱分类器可以吗？还是说，弱分类器的确定准则一定都是“分类误差率最小”这一个准则吗？

2020-05-08

● 回复 ● 1



伦纳德 · 噶得莱轲

我觉得是你理解错了吧，第 $n+1$ 个分类器其实是由第 n 个分类器根据当前的分类误差率来调整样本权重得到的

10-22

● 回复 ● 喜欢



噶得莱轲

他这个文章就是写错了...每次都取误差率最小的训到后面就是一直在更新一个分类器的权重了，其他分类器再也不更新...

04-03

● 回复 ● 喜欢



湖光山色

请问，就比如这道题，有3个弱分类器，假如最后的adaboost分期类是要将3个弱的都包含进来，不一定就是题中迭代三次就能完成的吧？还有，说最后的 H_{final} 的错误率为0，它不就是 $\text{sign}(f_3(x))$ 吗，而它的结果不是与 $H_3(x)$ 有关吗，也就是1, 2, 9被分错了。正如 $\text{sign}(f_2(x))$ 与 $H_2(x)$ 有关一样，怎么最后就没错了呢？

07-28

● 回复 ● 1



湖光山色

后半部分我看明白了，前半部分还是不懂。

08-22

● 回复 ● 喜欢



半瓶

请问例子中的三个弱分类器怎么得来的呢？

2021-10-29

● 回复 ● 2



Zeurd

弱分类器就是各种都能得到啊，决策树，svm，机器学习不就是在研究怎么分类么，集成学习说白了就是把其他的分类器组合起来以获得更强的学习能力

2022-05-29

● 回复 ● 1



脱发边缘

是啊，我也有同样的疑惑

2021-11-16

● 回复 ● 喜欢



000thanks

很好 很强大 谢谢博主

2020-03-08

● 回复 ● 1



100yui

牛的，好文

11-16

● 回复 ● 喜欢



功夫三号

大佬牛滴

09-03

● 回复 ● 喜欢

已赞同 704



发布一条带图评论吧



通俗易懂理解——深度学习与无人驾驶技术
算法工程师养成记

已赞同 704



机器学习，深度学习，复杂网络，算法



好文
收集看到的高赞解析和回答

推荐阅读



Cornell大神Kleinberg的经典教材《算法设计》是最好入门...
人邮异步社区



康奈尔大神Kleinberg的经典教材《算法设计》是最好入门的...
人民邮电出... 发表于一起“趣” ...

Farthest Point Sampling (FPS)算法核心思想解析

在点云研究中，采样算法举足轻重。目前很多流行的点云模型结构里面，都用到了FPS算法。本文将详细介绍FPS算法的流程以及代码实现里面的优化技巧，希望通过文本，读者对FPS的操作逻辑，时间...
不知道叫什... 发表于深度学习笔...



梯度提升(算法系列)
胡小白