





医学影像分析

Medical Image Analysis

王宽全

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

第6章 阈值法和分水岭算法

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

回顾

- 传统的医学图像分割方法
 - 阈值法
 - 分水岭
 - 分裂-合并
 - 形变模型
 - 图割法
 - 图谱配准
 - 分类器
 - 聚类法

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

目录

- 阈值法
- 分水岭算法
- 分割结果评价指标

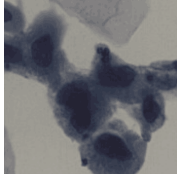
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

目录


- 阈值法
- 分水岭算法
- 分割结果评价指标

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

医学图像示例



(a)巴氏染色
宫颈癌细胞图像



(b)膝关节
MRI



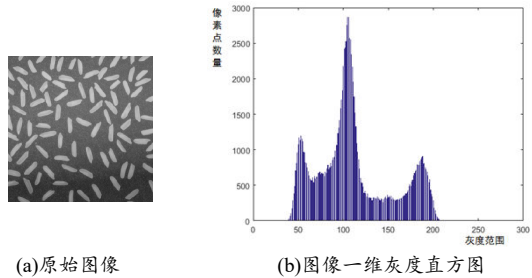
(c)大脑MRI

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

能不能通过灰度分布特征直接将对应的组织分离出来？

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

一个例子



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

一个例子

单阈值分割



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

阈值法分类

按照阈值的数量可以分为：单阈值分割、多阈值分割...

按照阈值的作用范围可以分为：全局阈值分割、局部阈值分割...

按照灰度直方图的维数可以分为：基于一维灰度直方图分割、基于二维灰度直方图分割...

按照阈值的直方图的划分依据可以分为：最大类间方差法、最大熵法...

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

多阈值分割

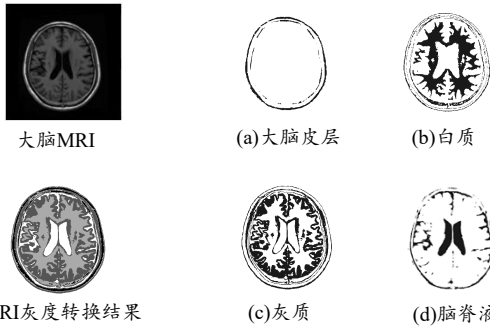
假设存在n个阈值： t_1, t_2, \dots, t_n ，那么图像的像素点将会被分成n+1个区间，图像像素点的映射关系如下：

$$f(x, y) = \begin{cases} v_1 & \text{if } 0 \leq f(x, y) \leq t_1 \\ v_2 & \text{elseif } t_1 < f(x, y) \leq t_2 \\ \vdots & \vdots \\ v_{n+1} & \text{elseif } t_n < f(x, y) \leq L-1 \end{cases}$$

其中 v_1, v_2, \dots, v_{n+1} 表示多阈值函数映射后图像各部分的标签值。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

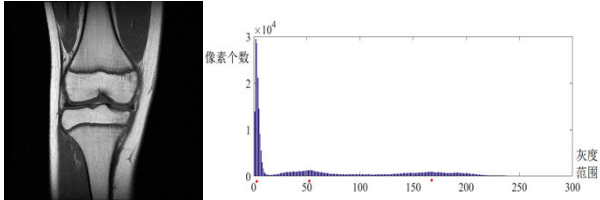
医学图像的多阈值分割实例



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

一维灰度直方图

一维灰度直方图以灰度范围为横轴，各灰度值对应的像素点的数量为纵轴，能够较好地反映图像的灰度分布信息，是阈值选择的重要依据。



(a)膝关节MR图像

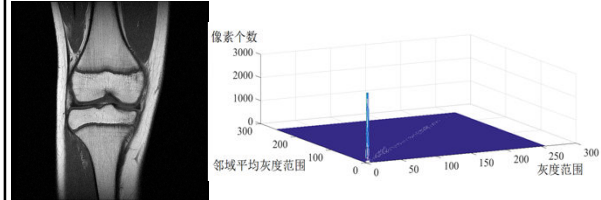
(b)一维灰度直方图

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

二维灰度直方图

二维灰度直方图以灰度范围为x轴，邻域平均像素值为y轴，各灰度值对应的像素点的数量为z轴，引入了局部空间信息。



(a)膝关节MR图像

(b)二维灰度直方图

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

一种基于最大类间方差（假设或先验）的阈值选择方法

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

最大类间方差

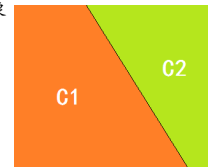
最大类间方差算法假设目标与背景之间存在显著的灰度差异，利用“**类内差异最小，类间差异最大**”原则，迭代求解分割阈值。

对于一幅大小为 $M \times N$ ，灰度取值范围为 $0, 1, 2, \dots, L-1$ 的图像，假设 n_i 为图像中灰度值为 i 的像素点的个数，则有：

$$MN = \sum_{i=0}^{L-1} n_i$$

图像中灰度值为 i 的像素点出现的概率为：

$$P_i = n_i / MN$$



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

最大类间方差

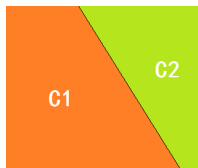
假设图像中存在两个区域 C_1 和 C_2 ，其中 C_1 区域的灰度取值范围为 $[0, k]$ ， C_2 区域的灰度取值范围为 $[k+1, L-1]$ 。

因此，对于任意像素点，其属于区域 C_1 的概率为：

$$P_{C_1} = \sum_{i=0}^k P_i \quad \text{同理, } P_{C_2} = \sum_{i=k+1}^{L-1} P_i = 1 - P_{C_1}$$

C_1 区域的平均灰度值为： m_1

C_2 区域的平均灰度值为： m_2



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

最大类间方差

整幅图像的平均灰度值为：

$$m = P_{C_1} m_1 + P_{C_2} m_2$$

整幅图像的方差为：

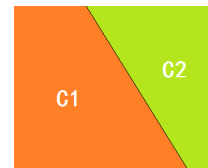
$$\sigma^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (i - m)^2 P_i$$

类间方差为：

$$\sigma_B^2 = P_{C_1} (m_1 - m)^2 + P_{C_2} (m_2 - m)^2$$

$$\downarrow$$

$$\sigma_B^2 = P_{C_1} P_{C_2} (m_1 - m_2)^2$$



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

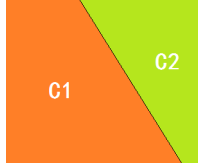
最大类间方差

$$\sigma_B^2 = P_{C_1} P_{C_2} (m_1 - m_2)^2$$

m_1 和 m_2 差距越大, 说明两个区域分割的越好

通过迭代选择 k 值, 将使类间方差最大的灰度值作为最终的分割阈值:

$$k^* = \arg \max_{0 \leq k \leq L-1} \sigma_B^2(k)$$



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

假设有一幅灰度图像 I , 其宽为 W , 高为 H , 像素值为 $p(i,j)$, 其中 $0 \leq i < W$, $0 \leq j < H$.

- 1.计算直方图 对于每个像素值 k , 计算它在图像中出现的次数 $n(k)$, 得到直方图 $h(k)$. 即: $h(k) = n(k)$, $0 \leq k \leq 255$
 - 2.计算灰度值平均值 μ 计算图像的灰度值平均值 μ :
 $\mu = (1/W*H) * \sum_{i=0, W-1} \sum_{j=0, H-1} p(i,j)$
 - 3.计算类间方差 对于每个阈值 T , 计算它下面的类间方差 $\sigma^2(T)$:
 $w_0(T) = \sum_{k=0, T} h(k) / (WH)$ $w_1(T) = \sum_{k=T+1, 255} h(k) / (WH)$
 $\mu_0(T) = 1 / w_0(T) * \sum_{k=0, T} k * h(k)$ $\mu_1(T) = 1 / w_1(T) * \sum_{k=T+1, 255} k * h(k)$
 $\sigma^2(T) = w_0(T) * w_1(T) * (\mu_0(T) - \mu_1(T))^2$
 - 4.阈值选择 选择类间方差最大的阈值 T :
 $T = \arg \max(T') \sigma^2(T'), 0 \leq T' \leq 255$
 - 5.图像分割 将图像分为两部分, 得到二值图像 I' :
 $I'(i,j) = 1, p(i,j) > T$ $I'(i,j) = 0, p(i,j) \leq T$
- 最终, 通过计算直方图、灰度值平均值和类间方差, 选择最佳阈值进行图像分割, 得到二值图像。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

一种基于最大熵方法（假设或先验）的阈值选择方法

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

什么是最大熵

- ✓ 最大熵原理是一种选择随机变量统计特性最符合客观情况的准则, 也称为最大信息原理。
- ✓ 随机量的概率分布是很难测定的, 选用这种具有最大熵的分布作为该随机变量的分布, 是一种有效的处理方法和准则。
- ✓ 这种方法虽有一定的主观性, 但可以认为是最符合客观情况的一种选择。
- ✓ 在投资时常常讲不要把所有的鸡蛋放在一个篮子里, 这样可以降低风险。
- ✓ 在信息处理中, 这个原理同样适用。在数学上, 这个原理称为最大熵原理

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

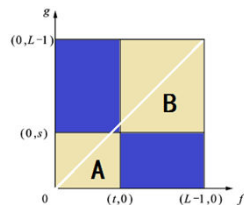
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

二维灰度直方图阈值分割分法

二维灰度直方图引入了局部空间关系, 通过灰度值 (f) -邻域平均灰度值 (g) 对来描述图像灰度分布。

二维灰度直方图利用图像前景和背景内部存在相似性的先验知识, 因此存在:

- 1) 前景和背景像素点会集中分布在二维灰度直方图主对角线附近;
- 2) 图像边缘点和噪声点则分布在直方图左上角和右下角区域。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

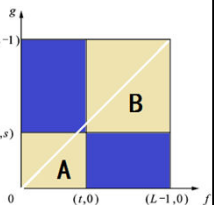
二维灰度直方图阈值分割分法

假设二维灰度直方图中, 灰度值为 i , 邻域平均灰度值为 j 的点的数量为 n_{ij} 那么对应灰度-邻域灰度均值对出现的概率为:

$$P_{ij} = n_{ij} / MN$$

根据香农熵的定义, 图像的信息熵为:

$$H = - \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} P_{ij} \ln P_{ij}$$



t 为灰度阈值;
 s 为邻域平均灰度阈值

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

二维灰度直方图阈值分割分法

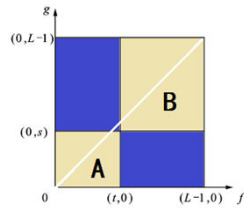
右图中，A、B区域的概率分别为：

$$P_A = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t P_{ij}$$

$$P_B = \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} P_{ij}$$

右图中，由阈值 s 和 t 分割出来、位于左下角对角线上的矩形区域的信息熵可以表示为：

$$H(s, t) = - \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t P_{ij} \ln P_{ij}$$



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

二维灰度直方图阈值分割分法

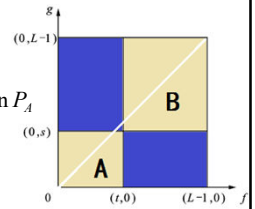
右图中，A、B区域的归一化信息熵分别为：

$$H_{s,t,A} = - \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t \frac{P_{ij}}{P_A} \ln \frac{P_{ij}}{P_A} = \frac{H(s, t)}{P_A} + \ln P_A$$

$$H_{s,t,B} = \ln(1 - P_A) + \frac{H - H(s, t)}{1 - P_A}$$

通过迭代选择阈值 s 、 t ，使得图像前景和背景的信息熵之和达到最大，即：

$$(s^*, t^*) = \arg \max_{0 \leq s, t \leq L-1} (H_{s,t,A} + H_{s,t,B})$$



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

作业1：实现基于一维直方图及二维直方图的最大熵阈值分割算法，画出相应直方图、阈值选择的熵图，3副不同类型图像的分割结果，并对结果进行分析，得出有效结论。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

目录

- 阈值法
- 分水岭算法
- 分割结果评价指标

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

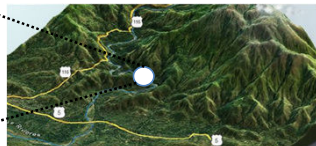
地形图与图像的联系

在一幅灰度图像中，各个像素点的灰度值（或其他特征值）可以视为是该点的海拔高度：灰度值越大，海拔越高；反之，灰度值越小，海拔越低。

通过灰度变换，将一般医学图像转化为灰度图像，转化后的灰度图像就可以等同于地形图。



分水岭和集水盆



地形图

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

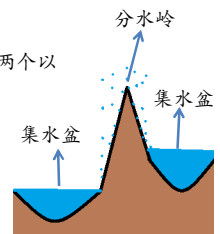
分水岭的定义

分水岭（Watershed）：

在地理学上，分水岭是指分隔两个或两个以上相邻流域的山岭；

集水盆（Catchment）：

集水盆是指盆状的集水洼地。



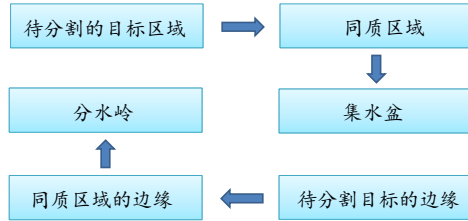
分水岭和集水盆

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

分水岭算法的本质

图像分割实质上是图像分成若干个不相交的同质区域：区域内的特征保持高度相似性；区域间的特征存在较大的差异。



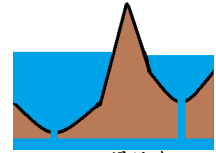
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

分水岭算法的种类

分水岭变换算法主要分为两种类型：一种称为**浸没法** (immersion)，另外一种称为**降水法** (rainy)。

浸没法：假设存在一个足够大的水域，地形图中每个区域的最小值点处都存在一个缺口。

将整个地形图缓缓浸入水域中，水流将会通过缺口涌入到集水盆中，并随着水位的升高，逐渐淹没每个集水盆。当来自两个不同集水盆的水将要汇聚时，在汇聚点处修建水坝 (dam)。水坝即为分水岭。



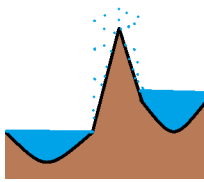
浸没法

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

分水岭算法的种类

降水法：模拟雨水降落到地形表面，并随着地形表面流动的过程。

降落的雨水会沿着一条最速下降路径 (steepest descent path) 滑落到区域最小值点处。集水盆上的每个点都会被赋予一个与区域最小值点相同的标记。整个滑落过程将会模拟多次，直到图像中每个点都被标记。最后，图像上每个点都会被分配到特定的集水盆中，通过不同集水盆的交界边缘获取最终的分水岭。



降水法

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

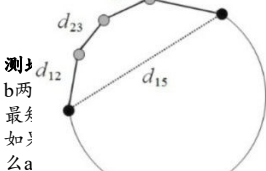
浸没法如何模拟浸没过程？

通过构建**测地影响区域**模拟浸没过程。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

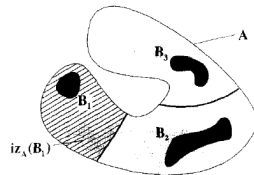
测地距离

假设点集 A 中存在任意两点 a, b 。 a, b 之间可能存在多条可测路径：



测地距离 $d_A(a, b)$ 为 a 到 b 的最短路径长度。

$$d_A(a, b) = \min_{b \in B} (d_A(a, b))$$



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

浸没法

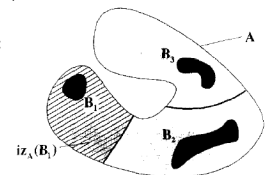
假设 B 由多个子集 B_i 组成， $i = 1, 2, \dots, k$ 则 B_i 的**测地影响区域**为：

$$iz_A(B_i) = \{p \in A \mid \forall j \in [1, k] \setminus \{i\} : d_A(p, B_i) < d_A(p, B_j)\}$$

已知 $B = \bigcup_{i=1}^k B_i$ 且 $B \subset A$ ，那么 B 的测地影响区域 (集水盆) 可以表示为：

$$IZ_A(B) = \bigcup_{i=1}^k iz_A(B_i)$$

测地影响区域的骨架 (分水岭) 为： $SKIZ_A(B) = A \setminus IZ_A(B)$



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

降水法

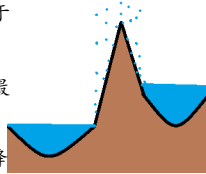
降水法模拟了一种降水过程：

当水落到集水盆某一点（非区域最小值点）处，该水滴会沿着某个**最速下降路径**滑落到区域最小值点处；当水落到分水岭上某一点时，它会以等概率的方式，沿某个最速下降路径滑落到附近集水盆区域最小值点处。

1) 某一条最速下降路径上的点都属于同一个集水盆；

2) 可以通过某点到其邻域所有点的最大梯度，求解该点的最速下降路径。

3) 通过求解图像中所有点的最速下降路径，完成对集水盆区域的标记。



降水法

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

给出图像任意中一点，一定可以找到它的最速下降路径吗？

不一定。

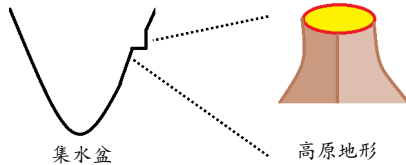
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

Plateau Problem

Plateau Problem (高原问题)

当出现高原问题时，我们无法找到一条最速下降路径！



当“水滴”滑落到黄色区域时，就会停止滑落，导致下面的点无法被标记。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

解决高原问题

31	25	25	25	25	25
21	25	25	25	25	25
33	25	25	25	25	25
34	25	25	25	25	25
35	39	25	25	33	25
41	36	37	34	32	20

(a) 图像中典型的高原区域

8	1	2
7	Pixel	3
6	5	4

(b) 定义像素点遍历顺序优先级 (顺时针方向)

利用**队列+广度优先搜索**对高原区域中的点重排序。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

重排序

31	25	5	25	10	25	15	25	19	25
21	25	6	25	11	25	16	25	20	25
33	25	7	25	12	25	17	25	21	25
34	25	8	25	13	25	18	25	22	25
35	39	9	25	14	25	33	25	23	25
41	36	37	34	32	20				

首先找到高原区域边缘具有下降路径的点，将其进行标记，并送入队列。**红色**表示已被访问。

进队列: 1 2 3 23

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

重排序

31	25	5	25	10	25	15	25	19	25
21	25	6	25	11	25	16	25	20	25
33	25	7	25	12	25	17	25	21	25
34	25	8	25	13	25	18	25	22	25
35	39	9	25	14	25	33	25	23	25
41	36	37	34	32	20				

在队列: 2 3 23 5 6
出队列: 1

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

重排序

31	25	5	25	10	25	15	25	19	25
21	25	6	25	11	25	16	25	20	25
33	25	7	25	12	25	17	25	21	25
34	25	8	25	13	25	18	25	22	25
35	39	9	25	14	25	33	23	25	
41	36	37	34	32		20			

在队列: ← 3 ← 23 ← 5 ← 6 ← 7
出队列: 2

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

重排序

31	25	5	25	10	25	15	25	19	25
21	25	6	25	11	25	16	25	20	25
33	25	7	25	12	25	17	25	21	25
34	25	8	25	13	25	18	25	22	25
35	39	9	25	14	25	33	23	25	
41	36	37	34	32		20			

在队列: ← 23 ← 5 ← 6 ← 7 ← 4 ← 8
出队列: 3

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

重排序

31	25	5	25	10	25	15	25	19	25
21	25	6	25	11	25	16	25	20	25
33	25	7	25	12	25	17	25	21	25
34	25	8	25	13	25	18	25	22	25
35	39	9	25	14	25	33	23	25	
41	36	37	34	32		20			

在队列: ← 5 ← 6 ← 7 ← 4 ← 8 ← 22 ← 18
出队列: 23

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

重排序

31	25	5	25	10	25	15	25	19	25
21	25	6	25	11	25	16	25	20	25
33	25	7	25	12	25	17	25	21	25
34	25	8	25	13	25	18	25	22	25
35	39	9	25	14	25	33	23	25	
41	36	37	34	32		20			

在队列: ← 6 ← 7 ← 4 ← 8 ← 22 ← 18 ← 10 ← 11
出队列: 5

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

重排序

31	25	5	25	10	25	15	25	19	25
21	25	6	25	11	25	16	25	20	25
33	25	7	25	12	25	17	25	21	25
34	25	8	25	13	25	18	25	22	25
35	39	9	25	14	25	33	23	25	
41	36	37	34	32		20			

在队列: ← 7 ← 4 ← 8 ← 22 ← 18 ← 10 ← 11 ← 12
出队列: 6

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

重排序

31	25	5	25	10	25	15	25	19	25
21	25	6	25	11	25	16	25	20	25
33	25	7	25	12	25	17	25	21	25
34	25	8	25	13	25	18	25	22	25
35	39	9	25	14	25	33	23	25	
41	36	37	34	32		20			

在队列: ← 4 ← 8 ← 22 ← 18 ← 10 ← 11 ← 12 ← 13
出队列: 7

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

重排序

31	25	5	25	10	25	15	25	19	25
21	25	6	25	11	25	16	25	20	25
33	25	7	25	12	25	17	25	21	25
34	25	8	25	13	25	18	25	22	25
35	39	9	25	14	25	33	25	23	25
41	36	37	34	32	20				

在队列: 22 ← 18 ← 10 ← 11 ← 12 ← 13 ← 14 ← 9
 出队列: 4 8

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

重排序

31	25	5	25	10	25	15	25	19	25
21	25	6	25	11	25	16	25	20	25
33	25	7	25	12	25	17	25	21	25
34	25	8	25	13	25	18	25	22	25
35	39	9	25	14	25	33	25	23	25
41	36	37	34	32	20				

在队列: 18 ← 10 ← 11 ← 12 ← 13 ← 14 ← 9 ← 21 ← 17
 出队列: 22

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

重排序

31	25	5	25	10	25	15	25	19	25
21	25	6	25	11	25	16	25	20	25
33	25	7	25	12	25	17	25	21	25
34	25	8	25	13	25	18	25	22	25
35	39	9	25	14	25	33	25	23	25
41	36	37	34	32	20				

在队列: 11 ← 12 ← 13 ← 14 ← 9 ← 21 ← 17 ← 15 ← 16
 出队列: 18 10

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

重排序

31	25	5	25	10	25	15	25	19	25
21	25	6	25	11	25	16	25	20	25
33	25	7	25	12	25	17	25	21	25
34	25	8	25	13	25	18	25	22	25
35	39	9	25	14	25	33	25	23	25
41	36	37	34	32	20				

在队列: 17 ← 15 ← 16 ← 20
 出队列: 11 12 13 14 9 21

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

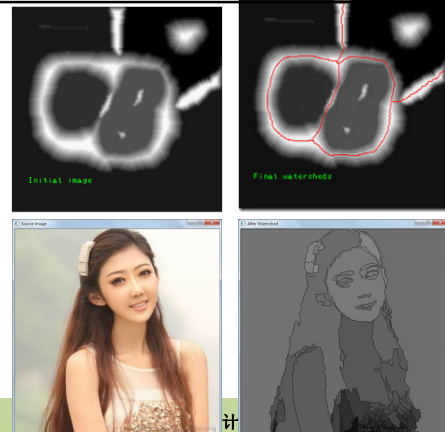
重排序

31	25	5	25	10	25	15	25	19	25
21	25	6	25	11	25	16	25	20	25
33	25	7	25	12	25	17	25	21	25
34	25	8	25	13	25	18	25	22	25
35	39	9	25	14	25	33	25	23	25
41	36	37	34	32	20				

在队列: 16 ← 20
 出队列: 17 15

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine



HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

参考资料

- 分水岭算法的种类比较多，对这个算法感兴趣的同学可以继续查阅相关文献，进行深入学习：
- Osma-Ruiz V, Godino-Llorente J I, Sáenz-Lechón N, et al. An improved watershed algorithm based on efficient computation of shortest paths[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(3): 1078-1090.
- Roerdink J B T M, Meijster A. The watershed transform: Definitions, algorithms and parallelization strategies[J]. Fundamenta informaticae, 2000, 41(1, 2): 187-228.

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

chatGPT:

分水岭图像分割方法是一种基于区域的分割方法，它将图像视为一个拓扑地形，利用分水岭原理将图像分成若干个区域。

以下是分水岭图像分割方法的具体步骤：

- 1.对图像进行预处理，例如去噪、平滑等操作，以便更好地提取分割结果。
- 2.计算图像的梯度，可以使用Sobel算子、Prewitt算子等方法来计算梯度。
- 3.根据梯度计算出图像的标记，标记的值为从像素点到最近极小值点的距离。可以使用距离变换算法来计算标记。
- 4.对标记进行分水岭变换，将标记视为一个拓扑地形，标记值越小的区域越接近水平面，标记值相同的区域在同一高度。
- 5.选择种子点，在分水岭变换后的地形上选择一些种子点，作为分割的起点。
- 6.将种子点所在的区域涂上不同的颜色，逐渐向外扩展涂色区域，直到涂色区域达到分割边界。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

```
// 输入：灰度图像I
// 输出：分割结果S
// 步骤：
// 1. 预处理
I = 预处理(I)
// 2. 计算梯度
grad = 计算梯度(I)
// 3. 计算标记
mark = 计算标记(grad)
// 4. 分水岭变换
watershed = 分水岭变换(mark)
// 5. 选择种子点
seeds = 选择种子点(watershed)
// 6. 区域生长
S = 区域生长(watershed, seeds)
```

分水岭图像分割方法可以有效地提取图像中的前景对象和背景信息，同时也可以处理图像中的不同纹理和颜色的变化。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

目录

- 阈值法
- 分水岭算法
- 分割结果评价指标

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

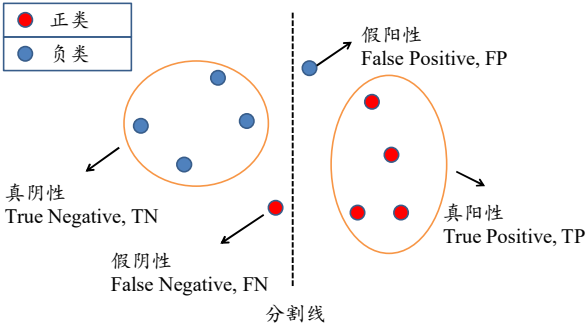
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

如何评价图像分割结果的好坏？

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

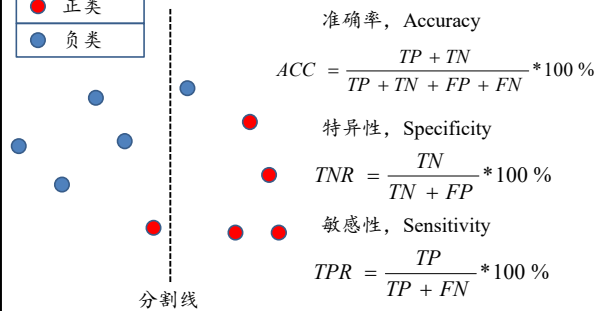
基本概念



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

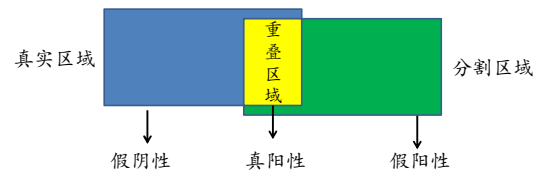
基本概念



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

DICE

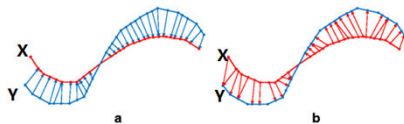


$$DICE = \frac{2TP}{2TP + FP + FN}$$

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

Hausdorff Distance



$$d_H(X, Y) = \max\{d_{XY}, d_{YX}\}$$

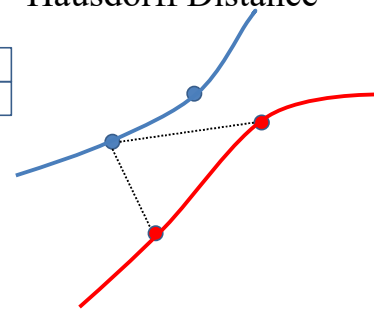
$$= \max\{\max_{x \in X} \min_{y \in Y} d(x, y), \max_{y \in Y} \min_{x \in X} d(x, y)\}$$

Hausdorff Distance描述的是一个点集X(分割区域)中的点到另外一个点集Y(真实区域)最短距离的最大值。往往用来描述两个边界之间的距离。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

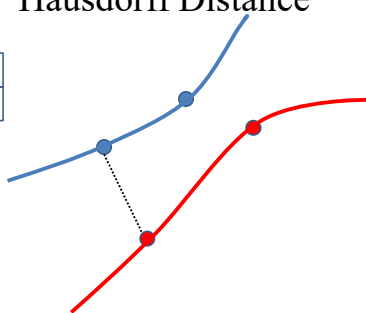
Hausdorff Distance



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

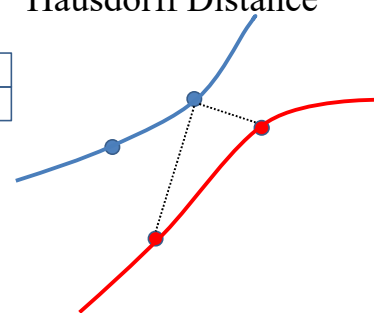
Hausdorff Distance



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

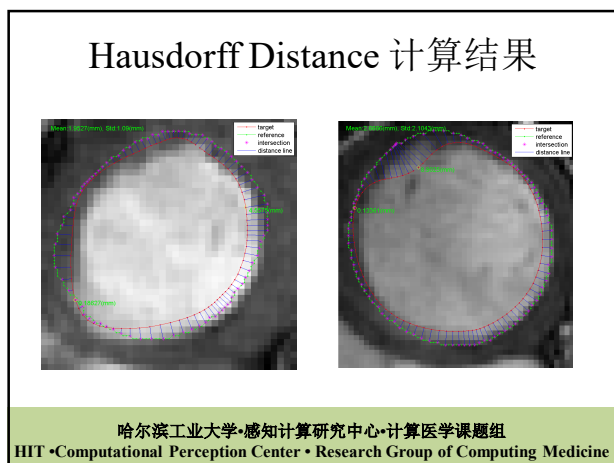
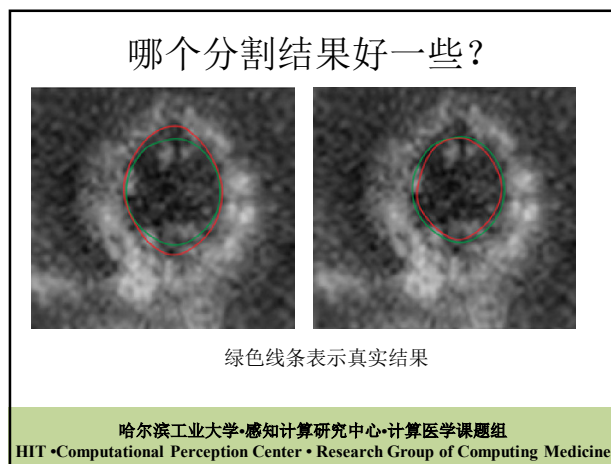
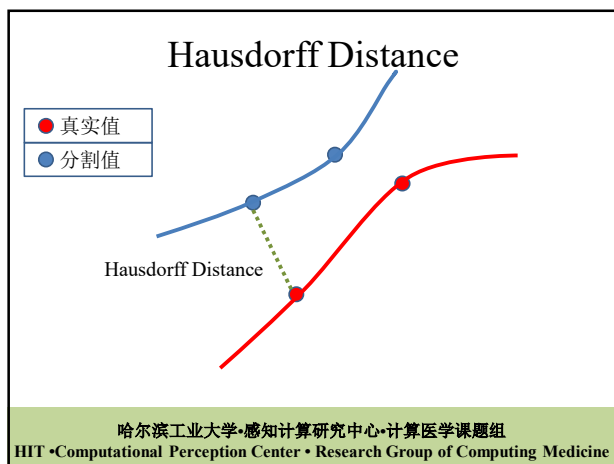
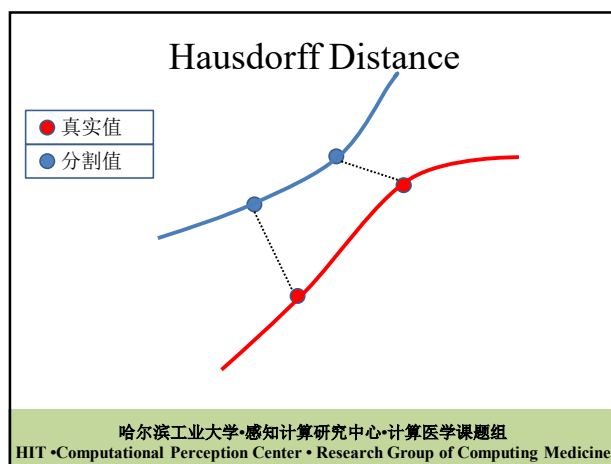
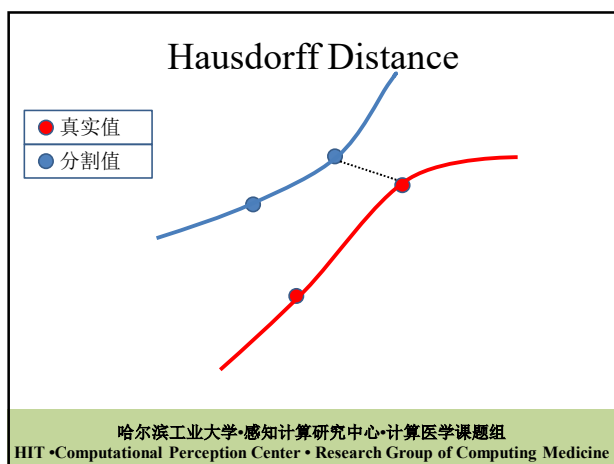
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

Hausdorff Distance



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine



阈值法和分水岭算法部分结束！

Snake模型是接下来的主要内容！

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT • Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine