

# 浮游动物特征总结

王如晨 朱亚菲

2015 年 8 月

## 目录

|        |                |    |
|--------|----------------|----|
| 1      | 13 类浮游动物的特征    | 3  |
| 2      | PkID 中用到的特征    | 6  |
| 2.1    | 位置特征           | 6  |
| 2.2    | 尺寸特征           | 7  |
| 2.3    | 灰度值特征          | 7  |
| 2.4    | 形状特征           | 9  |
| 2.5    | 还没有查找到的特征      | 9  |
| 2.6    | 实验             | 10 |
| 3      | 计算机视觉领域形态学常用特征 | 11 |
| 3.1    | 形状表示           | 11 |
| 3.1.1  | 多边形近似          | 11 |
| 3.1.2  | 傅里叶描述子         | 11 |
| 3.1.3  | 统计矩            | 11 |
| 3.1.4  | 骨架             | 11 |
| 3.1.5  | 形状数            | 11 |
| 3.1.6  | 拓扑描述           | 11 |
| 3.1.7  | 关系描述           | 11 |
| 3.1.8  | 主分量描述          | 11 |
| 3.1.9  | 不变矩            | 11 |
| 3.1.10 | 矩形度            | 11 |
| 3.1.11 | 体态比            | 11 |
| 3.1.12 | 圆形性            | 11 |

|        |       |    |
|--------|-------|----|
| 3.1.13 | 偏心率   | 12 |
| 3.1.14 | 凸率    | 12 |
| 3.1.15 | 密集度   | 12 |
| 3.1.16 | 球状性   | 12 |
| 3.1.17 | 伸长度   | 13 |
| 3.1.18 | 叶状性   | 13 |
| 3.2    | 简单描述子 | 13 |
| 3.2.1  | 边界的周长 | 13 |
| 3.2.2  | 面积    | 13 |
| 3.2.3  | 宽度和高度 | 13 |
| 3.2.4  | 边界的曲率 | 13 |
| 3.3    | 纹理表示  | 13 |
| 3.3.1  | 统计方法  | 13 |
| 3.3.2  | 结构性方法 | 13 |
| 3.3.3  | 频谱方法  | 13 |

## 1. 13 类浮游动物的特征

**Appendicularia (尾海鞘纲)** 属于脊索动物门，体型像蝌蚪，身体分为躯干和尾两部分。躯干为椭圆形；尾部扁平，比躯干要长。<sup>1</sup> 大小：小于 5mm。

观察采集的图像发现：

- 形状像蝌蚪，分为躯干和尾部。
- 躯干较大且灰度较深，并不是呈现规则的椭圆（还有部分突出的东西还不知道是什么）。
- 尾部大致呈现两种形状：一种细长弯曲；另一种较粗（粗细甚至于头部差不多），呈现柳叶状。尾部的灰度相比于躯干较浅，轮廓不太清晰。

**Bubble(气泡)** 非生物。

观察采集的图像发现：

- 圆形。
- 气泡四周灰度深，中间灰度很浅，呈亮白色。

**Chaetognatha (毛颚动物门)** 全体分为头、躯干和尾 3 部分。头部略膨大，躯干与头连接处稍微缢缩为颈部，尾部末端尖细。头部两侧各着生一系列 4 ~ 13 根镰刀状、几丁质的颚毛。<sup>2</sup> 大小：最大成年成年个体长 105mm，该类成年个体的长度一般都大于 5mm。

观察采集的图像发现：

- 身体修长，可以明显看出身体分为头、躯干和尾三部分。
- 头部小且圆滑，在头与躯干连接的地方略窄。
- 躯干较粗，轮廓清晰。
- 尾部慢慢变窄，末尾尖。

**Cladocera Penilia (Penilia avirostris, 鸟喙尖头蚤)** 属于节肢动物门，鳃足纲，枝角目，俗称水跳蚤。大小：大约为 1mm 左右。

观察采集的图像发现：长圆形，大部分图像可以看到一对较长的触角，并且中轴灰度较深。

<sup>1</sup><https://zh.wikipedia.org/wiki/%e5%b0%be%e6%b5%b7%e9%9e%98%e7%ba%b2>

<sup>2</sup><https://zh.wikipedia.org/wiki/%e6%af%9b%e9%a2%9a%e5%8a%a8%e7%89%a9%e9%97%a8>

**Copepoda(桡脚类)** 属于节肢动物门，颚足纲。体形像泪珠，有大的触角。分为前体部和后体部，前体部较为宽大，后体部较为短小。<sup>3</sup>前体部前体部由头和胸部组成，头部有两对触角，胸部有颚足、五对胸足。后体部无附肢，由 3—5 节组成。最末的腹节称尾节，末端具 1 对尾叉，尾叉的末端有 5 根不等长的刚毛，常呈羽状。<sup>4</sup>

观察采集的图像发现：身体类似椭圆形，身体前部的触角不是特别清晰，身体后部的触角较短，并成簇存在。

**Decapoda(十足目)** 属于节肢动物门，软甲纲。分为两类：Lucifer hansenii 和 Crab larvae。体躯延长呈虾形（腹部发达）或缩短扁圆呈蟹形（腹部化）。<sup>5</sup>

观察采集的图像发现：形状大致分为虾形和蟹形。

**Doliolida (海樽目)** 属于脊索动物门，樽海鞘纲<sup>6</sup>。体型一般呈桶状，体壁最外是被囊层，其内层是外套膜。被囊层下有 8 ~ 9 条肌带环绕着体躯。

观察采集的图像发现：

- 由于该类浮游动物比较透明，因此在图像中灰度较浅，并且其桶状轮廓也不完整了，但最明显的是能看到大概 7、8 条环状的肌肉带，有的图像中还能看到内部器官。

**Egg** 鱼卵以及其他浮游动物的卵。

观察采集的图像发现：

- 形状大致都呈圆形。
- 有的卵整体灰度都很深；有的卵中间有一块灰度较深的区域，四周灰度较浅（结构像细胞）。

**Fiber (纤维)** 非生物。

- 弯曲的线状，有的纤维有分叉和交叉。
- 该类图像中噪声较多，纤维的边缘也不是很规则。

**Gelatinous (明胶)** 胶质的浮游动物，包括 Aglaura（属于刺胞动物门，这一个没有搜的中文名字，但也属于水母类）、Medusa（水母，属于刺胞动物门，水螅纲）、Siphonophora（管水母，属于刺

<sup>3</sup><https://zh.wikipedia.org/wiki/%e6%a9%88%e8%85%b3%e9%a1%9e>

<sup>4</sup><http://baike.baidu.com/view/665478.htm>

<sup>5</sup>[http://baike.baidu.com/link?url=LWmrgD\\_DVUcwOupg\\_ziOLTlJWj6quxa\\_juRrS3zUt91A-FjPM6VQwYfZ5fFZckzIyEGCaXypikXUGg2JsYMXUX-uFEkmkLqC5lfxvXvApK3WRBcWQkfbDhMlfTdgrWvh-728gSoUylWZG2UstFK](http://baike.baidu.com/link?url=LWmrgD_DVUcwOupg_ziOLTlJWj6quxa_juRrS3zUt91A-FjPM6VQwYfZ5fFZckzIyEGCaXypikXUGg2JsYMXUX-uFEkmkLqC5lfxvXvApK3WRBcWQkfbDhMlfTdgrWvh-728gSoUylWZG2UstFK)

<sup>6</sup><https://zh.wikipedia.org/wiki/%e6%a8%bd%e6%b5%b7%e9%9e%98%e7%ba%b2>

胞动物门，水螅纲，管水母目)、Radiolaria (放射虫，属于原声动物门，辐足纲) 和 Salps (樽海鞘，属于脊索动物门 Chordata，樽海鞘纲 Thaliacea，纽鳃樽目 Salpida)。该类是多种呈胶质浮游动物的集合。大部分水母都有三个主要部位：圆伞状或是钟状（寺院里面敲得那种钟）的身体，触器和口腕。

观察采集的图像发现：

- 由于该类呈胶状，因此该类物体灰度整体较浅，边缘也不是十分清晰。大部分是水母，有小部分的樽海鞘（与海樽目形态很相似），小部分的放射虫。
- 其中水母也包括很多类，形态大致呈现以下几种：
  - 一些水母身体呈现类似钟状（这里呈现钟状有长有短，有粗有细，还有的会发生一点弯曲），灰度较浅，内部有一块颜色较深的椭圆形区域。
  - 一些水母也呈钟状，但内部没有颜色较深的椭圆形区域，整个身体灰度均匀。
  - 还有的个头稍微偏小，形状有的类似圆形、像半个胶囊（应该由于拍摄原因，有的拍到顶部，有的拍到侧面），体内有颜色较深的一个大点和几个小点。（可能是灯塔水母）
  - 还有四张看不出形状的，不知道是什么。
- 放射虫：形状近似圆形（但由于整体灰度较浅，形状保存是完整），中间有一块灰度较深的区域，四周灰度较浅，可以看到淡淡的细纹从中心连接到边界。

**Multiple (多个生物)** 由于浮游动物的重叠，导致分割过程中多个浮游动物被分割到一张图像上。

**Nonbio** 非生物的集合。

**Pteropoda (翼足目)** 属于软体动物门，腹足纲。

观察采集的图像发现：

- 该类浮游动物灰度较深，形状总体都呈现一头宽一头窄。
- 形状总体呈现三类：有的呈现象牙状，有点弯曲；有的较粗短，像一顶尖的小帽子；有的呈现细长的三角形状。

参考网站：<http://www.imas.utas.edu.au/zooplankton/home>。

## 2. PkID 中用到的特征

PkID 中用到的特征一共有 67 个：Area, Mean, StdDev, Mode, Min, Max, X, Y, XM, YM, Perim., BX, BY, Width, Height, Major, Minor, Angle, Circ., Feret, IntDen, Median, Skew, Kurt, %Area, XStart, YStart, Area\_exc, Fractal, Skelarea, Slope, Histcum1, Histcum2, Histcum3, XMg5, YMg5, Compentropy, Compmean, Compslope, CompM1, CompM2, CompM3, Symetrieih, Symetriev, Tag, ESD, Elongation, Range, MeanPos, CentroidsD, CV, SR, PerimAreaexc, FeretAreaexc, PerimFeret, PerimMaj, Circexc, CDexc, Nb1, Nb2, Nb3, Symetrieihc, Symetrieivc, Convperim, Convarea, Fcons, ThickR (这几个特征没有找到具体的含义)

从训练集的 PID 文件文件中看到, Compentropy, Compmean, Compslope, CompM1, CompM2, CompM3 这 6 个特征在所有图像上的值都为 0, Tag 这个特征在所有图像上的值都为 1, 在训练分类器时是不起作用的, 同时这 7 个特征的具体含义也没有找到。

### 2.1 位置特征

**BX** 能够包围物体, 且平行于图像两条边的最小外界矩形的左上角顶点的 X 坐标

**BY** 能够包围物体, 且平行于图像两条边的最小外界矩形的左上角顶点的 Y 坐标

**Height** 能够包围物体, 且平行于图像两条边的最小外界矩形的高

**Width** 能够包围物体, 且平行于图像两条边的最小外界矩形的宽

**XStart** 图像最左上角像素点的 X 坐标

**YStart** 图像最左上角像素点的 Y 坐标

**XM** 物体灰度重心的 X 坐标

**YM** 物体灰度重心的 Y 坐标

**XMg5** gamma 值为 51 时的物体灰度重心的 X 坐标 (gamma 值表示图像输出值与输入值关系的斜率)

**YMg5** gamma 值为 51 时的物体灰度重心的 Y 坐标

**X** 物体重心点的 X 坐标

**Y** 物体重心点的 Y 坐标

**Angle** 浮游动物主轴与图片 x 轴形成的夹角，在图片切割后旋转图片测量相关参数使用

这类特征反映的是浮游动物在图像中的位置信息，浮游动物特征与位置信息无关，因此它们不适合作为特征直接用于分类（会降低分类的准确率），而是用来计算其他特征（尺寸特征、灰度特征和形状特征）。

## 2.2 尺寸特征

**Area** 物体的表面积，方形像素的个数

**Perim** 周长，物体最外层边缘的长度

**Major** 物体的最佳拟合椭圆的长轴

**Minor** 物体的最佳拟合椭圆的短轴

**Feret** Maximum feret diameter（最大费雷特征），沿物体边缘任意两个点的最长距离

**Area\_exc** 去掉物体空洞后的表面积，空洞是指灰度值与背景相同的部分

**%area** 物体表面积中空洞所占的百分比，即背景所占的比例

这类特征表示了图像中目标的大小尺寸。它的根据是同类浮游动物的表面积、周长等尺寸特征应该是大致相同的。但是这些特征还存在着问题：1、同类浮游动物在不同时期（如幼年和成年）的个体大小尺寸是不同的。2、拍摄照片的方位不同（比如正面和侧面）得到的尺寸特征也是不同的。

## 2.3 灰度值特征

**Min** 物体内部所有像素点的最小灰度值 (0 = black)

**Max** 物体内部所有像素点的最大灰度值 (255 = white)

**Mean** 物体内的平均灰度值；物体中所有像素点的灰度值的总和除以总的像素个数

**IntDen (Integrated density)** 总密度，物体内部像素点的灰度值的总和 ( $IntDen = Area * Mean$ )

**StdDev** 物体内部像素的灰度值的标准差

**Mode** Modal grey value within the object（可能表示灰度的众数）



**Skew** 灰度直方图的偏度，衡量灰度分布的不对称性。偏度为负就意味着在概率密度函数左侧的尾部比右侧的长，绝大多数的值位于平均值的右侧。偏度为正就意味着在概率密度函数右侧的尾部比左侧的长，绝大多数的值位于平均值的左侧。偏度为零就表示数值相对均匀地分布在平均值的两侧，但不一定意味着其为对称分布。

**Kurt** 峰度，描述灰度直方图的陡缓程度。

**Mean\_exc** 物体内部去掉空洞后的平均灰度值 ( $Mean\_exc = IntDen / Area\_exc$ )

**Median** 物体内像素的灰度值的中值

**Slope** 归一化的灰度累计直方图的斜率

**Histcum1** 灰度累计直方图的值为 25% 时所对应的灰度值

**Histcum2** 灰度累计直方图的值为 50% 时所对应的灰度值

**Histcum3** 灰度累计直方图的值为 75% 时所对应的灰度值

**Range**  $Max - Min$  极差，灰度的范围。

**CentroidsD**  $\sqrt{(XM - X)^2 + (YM - Y)^2}$  目标物体重心和灰度重心之间的距离。

**CV**  $100 \times \frac{StdDev}{Mean}$  变异系数（也称离散系数或相对偏差），是灰度标准偏差与平均值之比，用百分数表示。

**SR**  $100 \times \frac{StdDev}{Max - Min}$  灰度标准差比上极差。

这类特征描述的是浮游动物的灰度特征，其中 Min、Max、StdDev、Range 反映了图像中目标的灰度范围，Skew、Kurt、Slope、Histcum1、Histcum2、Histcum3、Mean、IntDen、Mode、Mean\_exc、Median 反映了目标整体的灰度变化和集中趋势，CentroidsD、CV、SR 还不清楚它们的物理意义。

根据是同类浮游动物的灰度特征（灰度的范围和整体灰度变换趋势）应该是相似的，但观察图像发现并不是所有同类浮游动物的灰度都是相似的，例如 Gelatinous 类中有的个体灰度跨度较小，整体灰度都较浅，而有的个体灰度跨度较大；同时由于拍摄时光线的原因，会造成同类浮游动物中个体灰度的深浅不一。



## 2.4 形状特征

**Fractal** 物体边界的分形维数 (Berube and Jebrak, 1999), 表明物体边界的不规则程度

**Skelarea** 骨架像素的表面积 (在二值图像中, 不断地从物体边缘处减去像素点直到仅剩一个像素的宽度, 最后所得图形的像素点数)

**Symetrieih** 水平对称

**Symetriev** 垂直对称

**Circ**  $Circularity = (4 * Pi * Area) / Perim^2$  圆形度, 表征物体接近圆的程度, 值等于 1 时, 说明物体为正圆形, 值越接近 0, 物体体形越长。

**ESD**  $2 \times \sqrt{\frac{Area}{\pi}}$  相应球形直径 (也称为等效球直径), 是指一不规则外形物体, 其体积相同球体的直径。

**Elongation**  $\frac{Major}{Minor}$  延伸率, 最佳拟合椭圆的长轴和短轴之比。

**Circexc**  $\frac{4 \times \pi Area\_exc}{Perim^2}$  去掉目标内部空洞的圆形度。

这类特征描述的是浮游动物的灰度特征, 根据的是不同种类浮游动物的形状不同。存在的问题是有不同种类的浮游动物形状相似, 例如 Appendicularia 和 Chaetognatha, Bubble 和 Egg; 也有同种浮游动物形状不同, 例如 Decapoda、Gelatinous。

## 2.5 还没有查找到的特征

**MeanPos**  $\frac{Mean - Max}{Max - Min}$

**PerimAreaexc**  $\frac{Perim}{\sqrt{Area\_exc}}$

**FeretAreaexc**  $\frac{Feret}{\sqrt{Area\_exc}}$

**PerimFeret**  $\frac{Perim}{Feret}$

PerimMaj  $\frac{Perim}{Major}$

CDexc  $\frac{\sqrt{(XM - X)^2 + (YM - Y)^2}}{\sqrt{Area\_exc}}$

2.6 其他特征

这些特征并没有在 PkID 中使用，而是在作者的一个幻灯片中提到的新特征。

Texture Contrast

Cumulation Histogram

Convex Area

Symmetry

Thickness Ratio

2.7 实验

采用以上 67 个特征，并用随机森林分类器进行训练和分类得到的混淆矩阵如图 1

|                  | Appendicularia | Bubble | Chaetognatha | CladoceraPenilia | Copepoda | Decapoda | Doliolida | Egg  | Fiber | Gelatinous | Multiple | Nonbio | Pteropoda | Total | Recall | l-Precision |
|------------------|----------------|--------|--------------|------------------|----------|----------|-----------|------|-------|------------|----------|--------|-----------|-------|--------|-------------|
| Appendicularia   | 2220           | 0      | 110          | 13               | 1        | 21       | 0         | 0    | 61    | 2          | 137      | 160    | 0         | 2725  | 0.8147 | 0.195069    |
| Bubble           | 0              | 629    | 0            | 0                | 3        | 0        | 0         | 28   | 0     | 0          | 4        | 61     | 0         | 725   | 0.8676 | 0.096264    |
| Chaetognatha     | 147            | 0      | 1550         | 0                | 2        | 6        | 0         | 0    | 4     | 1          | 23       | 12     | 0         | 1745  | 0.8883 | 0.093567    |
| CladoceraPenilia | 0              | 0      | 0            | 4156             | 18       | 0        | 7         | 0    | 0     | 1          | 11       | 432    | 0         | 4625  | 0.8986 | 0.079717    |
| Copepoda         | 4              | 0      | 0            | 7                | 6309     | 161      | 0         | 0    | 0     | 0          | 193      | 679    | 17        | 7370  | 0.856  | 0.190323    |
| Decapoda         | 1              | 0      | 0            | 0                | 316      | 2270     | 0         | 0    | 0     | 0          | 76       | 121    | 1         | 2785  | 0.8151 | 0.221269    |
| Doliolida        | 0              | 0      | 0            | 1                | 0        | 0        | 1104      | 0    | 0     | 160        | 7        | 153    | 0         | 1425  | 0.7747 | 0.110395    |
| Egg              | 0              | 57     | 0            | 15               | 3        | 1        | 0         | 1361 | 0     | 30         | 1        | 246    | 6         | 1720  | 0.7913 | 0.098675    |
| Fiber            | 46             | 0      | 19           | 0                | 0        | 0        | 5         | 0    | 1129  | 0          | 67       | 254    | 0         | 1520  | 0.7428 | 0.204369    |
| Gelatinous       | 6              | 0      | 0            | 49               | 12       | 6        | 67        | 19   | 0     | 2127       | 88       | 635    | 1         | 3010  | 0.7066 | 0.196145    |
| Multiple         | 266            | 2      | 16           | 38               | 452      | 219      | 13        | 17   | 43    | 93         | 1054     | 955    | 7         | 3175  | 0.332  | 0.481299    |
| Nonbio           | 68             | 8      | 13           | 237              | 626      | 187      | 45        | 85   | 182   | 227        | 366      | 13240  | 106       | 15390 | 0.8603 | 0.230635    |
| Pteropoda        | 0              | 0      | 2            | 0                | 50       | 44       | 0         | 0    | 0     | 5          | 5        | 261    | 718       | 1085  | 0.6618 | 0.161215    |
| Total            | 2758           | 696    | 1710         | 4516             | 7792     | 2915     | 1241      | 1510 | 1419  | 2646       | 2032     | 17209  | 856       | 47300 | 0.77   | 0.181457    |

图 1: PkID-RF 交叉验证, folds 取 2, repetitions 取 5

### 3. 计算机视觉领域形态学常用特征

#### 3.1 形状表示

##### 3.1.1 多边形近似

##### 3.1.2 傅里叶描述子

##### 3.1.3 统计矩

##### 3.1.4 骨架

##### 3.1.5 形状数

##### 3.1.6 拓扑描述

##### 3.1.7 关系描述

##### 3.1.8 主分量描述

##### 3.1.9 不变矩

##### 3.1.10 矩形度

反映被检测目标的最小外接矩形的充满程度，当目标的形状越接近矩形时，矩形度的值越接近 1。

$$R = \frac{A}{WH}$$

A 为目标的面积，W、H 分别为最小外接矩形的宽度和高度。

##### 3.1.11 体态比

为目标最小外接矩形的长与宽的比值。

$$C = \frac{W}{H}$$

##### 3.1.12 圆形性

用目标区域的所有边界点定义的特征向量。

$$C_I = \frac{\mu_R}{\sigma_R}$$

$\mu_R$  为区域重心到边界点的平均距离,  $\sigma_R$  为从区域重心到边界点的距离的平均方差。

### 3.1.13 偏心率

定义为目标区域长短主轴的平方根的比值。

$$E = \frac{p}{q}$$

设目标区域在 XY 平面上, 区域像素点绕 X 轴的转动惯量为 A, 绕 Y 轴的转动惯量为 B, 惯性积为 C。目标区域的长度分别是 p 和 q。

$$p = \sqrt{\frac{2}{(A+B) + \sqrt{(A-B)^2 + 4C^2}}}$$

$$q = \sqrt{\frac{2}{(A+B) - \sqrt{(A-B)^2 + 4C^2}}}$$

### 3.1.14 凸率

为目标区域面积与目标区域凸包面积之比, 该特征包含着描述边界不规则特性的信息。

$$C_R = \frac{A}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N k(x, y)}$$

分母为凸包区域的面积。

### 3.1.15 密集度

描述目标密集度的量化特征, 提供了目标形状的重要信息。在周长确定后, 密集度越高, 所围成的面积越大。

$$C_2 = \frac{L^2}{4\pi A}$$

L 为周长。

### 3.1.16 球状性

内切圆的直径与外接圆的直径之比。

$$S = \frac{r_i}{r_c}$$

### 3.1.17 伸长度

周长与目标区域最小外接矩形面积之比。

$$P = \frac{L}{WH}$$

### 3.1.18 叶状性

叶状反映了边界的幅度特征，为区域重心到边界的最短距离与目标区域的最大宽度之比。

$$B = \frac{R_1}{W_{max}}$$

## 3.2 简单描述子

### 3.2.1 边界的周长

轮廓边界的周长。对轮廓边缘上的像素点的统计。

### 3.2.2 面积

描述区域大小的特征。对区域内总像素点的统计。

### 3.2.3 宽度和高度

最小外接矩形的宽度和高度

### 3.2.4 边界的曲率

## 3.3 纹理表示

### 3.3.1 统计方法

### 3.3.2 结构性方法

### 3.3.3 频谱方法

- 基于灰度共生矩阵的方法
- 灰度-梯度共生矩阵分析法
- 灰度行程长度统计法

- 小波分析法
- 基于 Gabor 小波变换的纹理分析法