

# 数据结构大作业（一）

乔春雨  
2012013289  
21 班  
软件学院

Tel: 18612526281

E-mail : tionry@163.com

杨晨昊  
2012013278  
21 班  
软件学院

Tel: 15601098319

yangch940115@gmail.com

肖翱  
2012013314  
22 班  
软件学院

Tel: 18811364005

xiaobao681@163.com

## 摘要

在本次试验中，我们以 R 树为数据结构，尝试了基于图像内容信息的图像检索。主要包括基于 R 树创建的图像信息索引结构以及基于四种不同图片特征的图像信息提取。

## 关键字

图像检索；图片特征；R 树；颜色特征；空间特征

## 1. 简介

R 树是目前应用最为广泛的检索结构，是 B 树在 k 维上的自然拓展，在索引大量数据时具有诸多优势，本次试验中的 R 树便参考了 Greg Douglas 修改的 C++ 版本，并在理解的基础上进行了部分改进。

本次试验的图像特征提取主要基于图像的颜色分布与空间分布进行，主要包括 HSV 颜色直方图，颜色矩，Hu 矩，信息熵等。

## 2. R 树

我们依据 Greg Douglas 的 C++ 版本编写 R 树，在理解其代码的基础上添加了 k-近邻搜索与测试功能函数。

### 2.1 R 树基本要求及相关算法

节点分裂：在实验测试时，我们给定每个节点最大容量 TMAX\_NODES 为 16，即当节点容量超过 16 时，将节点分裂为两个，分裂方法与 B 树类似。

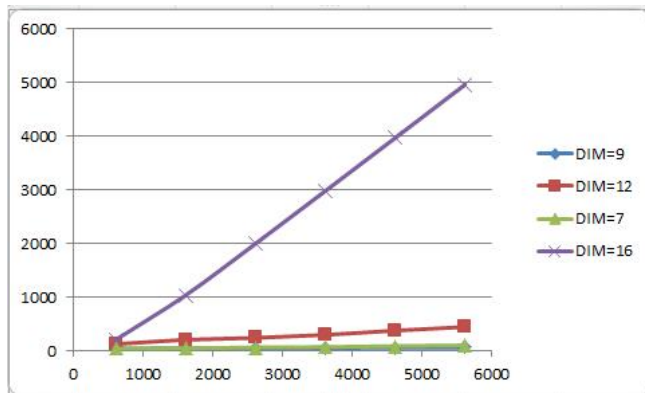
K-近邻搜索：在 KNN 算法中，我们查找并返回具有最好效果的 k 个结果。这在图像检索中可以高效的返回与样图相似度最高的一组图片，且具有图片个数易于控制，便于处理图片内容交叉重叠等现象的优势。

区域搜索：对每个结点构造一定数量的 MBR，将图片结果以一定规律分布在 MBR 中，通过 MBR 可以较快的定位并返回相关的结果。

## 2.2 R 树不同维度及数据规模下的性能测试

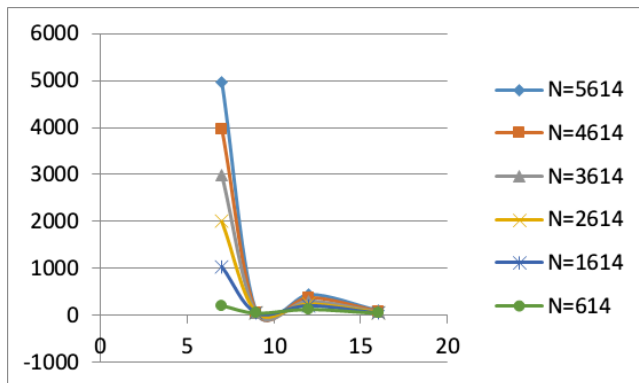
### 2.2.1 访问节点数与数据规模之间的关系

下图为近邻搜索过程的结果图像，该图显示了近邻搜索过程中，访问的节点数 nhits 与数据规模 N 之间的关系，从图上可以清楚地看出，nhits 与 N 之间基本呈正比的关系，也就是说 nhits/N 基本为常值。



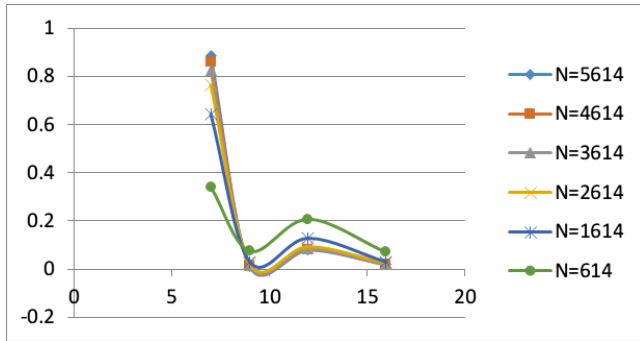
### 2.2.2 访问节点数与维度之间的关系

下图为近邻搜索过程中，访问的节点数 nhits 与维度 DIM 之间的关系。由该图发现，在 MAX\_NODES 固定的情况下，并没有很明显的规律。



### 2.2.3 nhits/n 与维度之间的关系

下图为近邻搜索过程中，访问的节点数 nhits/N 与维度 DIM 之间的关系。从上图与下图中可以粗略的认为维度越低访问的节点数越多。但是从整体考虑，我们忽略了其他几个重要的因素：1. 每种维度下特征的提取方式和含义都不相同，即使是同样的近邻搜索方法，也会产生不同的结果。2. 我们采取的近邻搜索方法是根据给定的待搜索图片的特征，进行范围扩展，在其中搜索覆盖的 MBR，如果搜索的结果数量不足，那么扩展范围。故这种方法十分依赖于特征的数值，而不仅仅是维度。



## 2.3 R 树性能拓展尝试

### 2.3.1 Node splits 的影响因素

理论推导：

MAX\_NODES 的值会影响 Node splits。因为只有节点达到上限 MAX\_NODES 的值才会分裂节点，所以增加 MAX\_NODES 的值理论上能够增加每个点所能容纳的子节点数，从而减少分割次数。

实际测试：

维数	结点分裂次数
4	2720
8	1147
12	725
16	543
32	264

实际测试与理论预测基本吻合，因此对 Node splits 的影响因素应包括 MAX\_NODES 的值。从而我们能够通过增加 M 的值来减少分割次数 splits\_time 的次数。

## 3. 图片特征提取

在本次试验中的图片特征提取主要基于颜色特征与空间特征进行，在颜色特征方面，由于对人眼视觉方面具有更为优良的契合性，我们采用了 HSV 空间来替代 RGB 空间，在空间特征方面，我们使用了最为基本的图像分割来表征图像内容的空间分布。以下分别介绍具体的图片特征：

### 3.1 图片特征提取简述

#### 3.1.1 HSV 空间

HSV 空间是一种颜色空间，也称六角锥体模型。这个模型中颜色的参数分别是：色调（H），饱和度（S），亮度（V）。相比 RGB 空间，HSV 空间模拟了人眼观察物体时的感受，能够更加真实的反映人眼观察时的分布特征。它与 RGB 空间存在线性变换关系，利用以下公式可以将 RGB 空间变换为 HSV 空间。

$$h = \begin{cases} 0^\circ & \text{if } \max = \min \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max-\min} + 0^\circ, & \text{if } \max = r \text{ and } g \geq b \\ 60^\circ \times \frac{g-b}{\max-\min} + 360^\circ, & \text{if } \max = r \text{ and } g < b \\ 60^\circ \times \frac{b-r}{\max-\min} + 120^\circ, & \text{if } \max = g \\ 60^\circ \times \frac{r-g}{\max-\min} + 240^\circ, & \text{if } \max = b \end{cases}$$

$$s = \begin{cases} 0, & \text{if } \max = 0 \\ \frac{\max-\min}{\max} = 1 - \frac{\min}{\max}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$v = \max$$

#### 3.1.2 HSV 颜色直方图

将图像中的像素点分离，得到该点的 HSV 值，依据人眼对 HSV 的不同敏感性，在不同范围下划分维度，将像素点依据统计学原理制成 HSV 颜色直方图。在本次试验中我们尝试完成了一个十二维颜色直方图。

#### 3.1.3 HSV 颜色矩

HSV 颜色矩：颜色矩是一种简单有效的颜色特征表示方法，即为 HSV 三种颜色度量的一阶矩(均值)、二阶矩(方差)和三阶矩(斜度)，共九维。颜色矩可有效地表示图像中的颜色分布，该方法的优点在于：不需要颜色空间量化，特征向量维数低。

#### 3.1.4 Hu 矩

Hu 矩：Hu 矩是由 7 个不变矩构成的一组特征量，Hu.M.K 在 1962 年证明了他们具有旋转，缩放和平移不变性<sup>[1]</sup>。这一向量作为图片特征，优点是速度很快，缺点是识别率比较低，由于 Hu 不变矩只用到低阶矩，对于图像的细节未能很好的描述出来，导致对图像的描述不够完整。

#### 3.1.5 信息熵

信息熵：信息熵描述的是信源的不确定性，是信源中所有目标的平均信息量。其信息熵的代数定义形式为：

$$H(X) = - \sum_{i=1}^r P(a_i) \log P(a_i)$$

在本次试验中，我们只做了简化版的信息熵，实际反映图像的空间分布。具体方法为对图像平均分割为 16 块，之后对其图像灰度分别计算信息熵，再依据人眼识别重要程度对 16 块分割赋予不同权重，后得到一组向量，用以表示图像的空间属性。

## 3.2 不同特征下的正确率

对单独的图像特征，利用加权欧氏距离进行准确度计算，对样例图片返回准确度最接近的十张图片，对全部 5000 余张图片查找后返回不同特征的正确率如下。

图像特征	正确率
HSV 直方图	20.08%
颜色矩（原版）	23.0%
颜色矩（自制）	23.5%
Hu 矩	15.7%
信息熵	19.0%

#### 3.2.1 正确率分析与特点

HSV 颜色直方图：由上表可得 HSV 直方图正确率相对较高，仅次于颜色矩，这说明了颜色直方图在一定程度上可以正确反映图像的特征。对于不同维度的颜色直方图，事实上的正确率并没有太大改观，这说明抛弃了图片内容空间特征下单纯依靠颜色特征高维度堆砌并不能明显提高图像检索正确性，或许还会降低正确率。

**HSV 颜色矩:**由上表可知,颜色矩正确率最高,因此颜色矩是一种相对来说更加可靠的图像特征。这是由于颜色信息主要分布于低阶矩中,所以用一阶矩,二阶矩和三阶矩便可以较好地表达图像的颜色分布。

**Hu** 矩: 由上表可知, **Hu** 矩的准确率一般, 如果以准确率为依据判断时并不特别有优势。并且由于 **Hu** 矩只用到低阶矩, 对图像的细节未能很好地描述, 导致对图像的细节缺失。但由于 **Hu** 矩编写简单速度快, 因此还是具有一定的应用价值。

信息熵：信息熵的准确率最低，这主要是我们对信息熵进行了简化导致其中内容的大量缺失。但由于信息熵一定程度上依然能够较好地反映图像的空间特征，因此可以在多种特征的组合里使用信息熵作为图像空间特征的反映。

### 3.3 不同权重下特征值的相关性

对于不同图片特征对于图片检索的重要性，我们对不同图片特征值分配以不同权重，利用加权欧氏距离进行准确度计算，返回特征组合的正确率如下。：

特征	颜色矩	HSV 直方图	Hu 矩	准确率
权重系数	1	1	0	23.4%
权重系数	1	0	1	23.4%
权重系数	0	1	1	15.9%
权重系数	100	1	0	23.3%
权重系数	1	0	100	23.6%
权重系数	0	100	1	15.8%

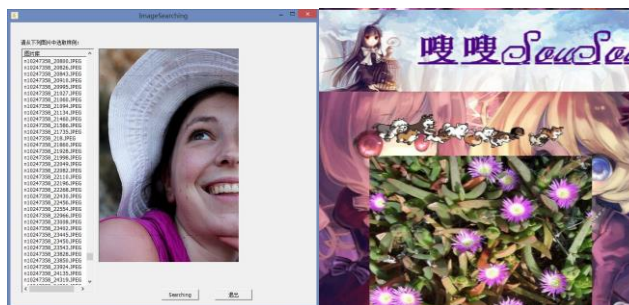
根据对不同权重下图片特征值的图像检索正确率来看,增加检索时的图片特征后的正确率均要好于这些特征单独检索时的正确率。并且不同的权重组合导致的准确率提升程度也不相同。经对比后发现,在不同方向上(如颜色与空间)的组合可以相互修正单一特征所产生的不足,能够更有效地提升正确率。但是对于相同特征组合权重的改变并没有产生明显变化。我们分析认为一方面这与我们采取的近邻搜索方式有关,另一方面依赖于特征值本身的性质。

## 4. 界面

本实验进行了图形界面的设计，以增加操作的便捷性与用户的操作体验。

界面主要包括 MFC 程序用以载入图片, 以及网页用以显示检索结果。

界面如图:



程序

网页

## 5. 结论

通过本次试验,我们掌握了一些基本的图像特征的提取方法与 R 树作为索引的构建方法。通过检索,发现颜色矩与颜色直方图在图像信息提取方面是相对较好的两种图像特征;并且依据欧氏距离的比较利用 R 树得到了一些检索结果。虽然限于时间与能力,最终的检索效果与正确率并不十分令人满意,但在比较分析的过程中我们还是对图像特征与 R 树有了更深入的理解。

限于时间与精力，我们并未将全部想法付诸实践，在本次试验中也还有大量问题值得我们去深入反思，努力改进。希望能够得到老师与助教的批评指正，使我们有机会做得更好。

## 6. 致谢

感谢靳晓明老师在课程上的教授与指导，使我们了解相关的数据结构与分析方法。

感谢助教为本次大作业提供了指导材料与相关代码，为我们减轻了作业压力。

感谢您的耐心阅读与批评指正。

## 7. 参考

- [1] Guttman A. R-trees: A dynamic index structure for spatial searching[M]. ACM, 1984.
- [2] Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariants[J]. Information Theory, IRE Transactions on, 1962, 8(2): 179-187.
- [3] 王涛, 胡事民, 孙家广. 基于颜色-空间特征的图像检索[J]. 软件学报, 2002, 13(10).
- [4] 商立群, 杜亚娟. Hu 矩和 Zernike 矩在图象识别中的应用[J]. 西安科技学院学报, 2000, 20(1): 53-56.
- [5] 刘忠伟, 章毓晋. 综合利用颜色和纹理特征的图像检索 [J]. 通信学报, 1999, 20(5).
- [6] 刘芳, 王涛. 基于颜色-空间二维直方图的图象检索[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(12): 85-88.
- [7] 刘忠伟, 章毓晋. 十种基于颜色特征图像检索算法的比较和分析[J]. 信号处理, 2000, 16(1): 79-84.
- [8] 孙君顶, 毋小省, 周利华. 基于信息熵的图像检索[J]. 西安电子科技大学学报, 2004, 31(2): 223-22