

最强大脑之图形辨识

摘要

本题为图像的分割与相似度匹配问题，建立了模糊数学的模型以及类 TSP 模型，运用了模拟退火算法，结合 MATLAB 实现了问题的求解。

针对问题一：图像的分割问题。我们在不考虑图片旋转与缩放的情况下，首先将原图边框以外的白色部分用 MATLAB 对矩阵的处理将其截取掉，提取中间的图像部份，然后提取截取后图像的灰度矩阵 X_i ，运用矩阵相似度公式 (5.1.1) 得出图像的相似度矩阵 T_{ij} ，将相同的图像剔除之后，再把剩下的 45 张图像导入 MATLAB，提取他们的图像特征。通过判断线条数目和线条疏密程度这两个指标，利用模糊聚类分析的方法，将图像分为三类，最后分别在三个类别中计算每个类别的最小相似度的最小值将其作为相似性最大部分的搜索依据，进而确定了在 B_1 类别中找相似性最大的截图，再利用模拟退火法思想，实现全局最优解，避免了穷举遍历算法亿万级计算量，搜索出相似度最大的截图。

针对问题二：图像的配问题。可以采用第一问的逆向思路：将附件中截图导入 MATLAB，得到截图的灰度矩阵 t_{ij} 。分析灰度矩阵已知截图的图像特征，根据小截图的隶属度，可大概确定截图 1，截图 2 的原图应在线条数量较多的那一类。再运用模拟退火法，用小截图的灰度矩阵与遍历所属类别里图像的截图灰度矩阵，通过对比，最终得到问题二的答案，经检验答案一致。

考虑到模型算法的优化评估，此题图像均为黑白，在 MATLAB 中对原图进行图像处理时，可以利用 MATLAB 自带的图像处理函数将所给彩色图片的灰度图像转成二值图像。利用 meanshift 算法、sift 算法找出图像特征向量，将图片的特征向量作为模糊聚类分析时论域元素的一个性状，同时由 MATLAB 计算出彩色图片的灰度直方图也可作为图像相似度匹配的一个重要指标。从而使得本模型适用于更普遍的图形辨识问题。

关键字：模糊聚类分析、模拟退火法、TSP 问题、图像的切割与相似度匹配

一、问题重述

近期，江苏卫视正在热播节目“最强大脑”。节目中问题的难度、新异、选手的超强记忆力及敏锐的观察力让人叹服不已。

曾经有这样一期节目，选手先观察近百幅人类历史上出现过的知名建筑图片（沙画，每幅大约 1 平米），然后由考官随机地从图片中选取一副 4cm X 4cm, 2cm X 2cm 等规格的截图，再让选手只观察截图并判别截图出自于哪一幅沙画。节目中选手几乎是以不可想像的速度做出了正确的选择。

看完节目，在对选手的超强能力的佩服之余，觉得考官的选择还不够好，应该选择这些图片中相似性最大的部分，而不能选择那些有显著特点的截图，那么题目的难度更会显著增加。我们将讨论以下两个问题：

1) 如何选择出那些相似性比较高的截图呢？我们将建立模型讨论这一问题，并对附件中的图片选择出 40×40 像素及 20×20 像素的相似性最高的截图（截图仅限出现在附件图片中的矩形框内，空白截图除外）。

2) 建立模型解决对于给定的截图(附件中文件“截图 1.bmp,截图 2.bmp”)出自于第几幅图片的何处位置的问题。

二、问题分析

本题是图片的分割与匹配性问题，问题一是将图片分割，得到相似性最大的截图，问题二而是为截图寻找匹配原图。本文对本题的研究可以采用模糊数学的方法进行。

问题一：根据题可知，图片属于纯纹理型，为了得到 40×40 以及 20×20 像素的相似性最高的截图，先要通过图片分类，得到相似性最大的各类图片，再由截图得到答案。

首先，将 60 张图片导入 MATLAB 中处理得到图片的灰度矩阵后发现 60 张图片全部为二值图像，然后利用 MATLAB 计算出 60 张图片的相似度矩阵，发现 60 张图片存在相同的图片，将相同图片留下一张其余的剔除。最后对剩下的 45 张图片进行处理将白色外围边框去掉。

然后利用模糊聚类分析的方法将图片分为三个类别。

最后分别在三个类别中的图片计算最小相似度，进而确定了在 B_1 类别中找相似性最大的截图。

问题二：题目要求根据附件给的小截图判断其出自哪张原图的哪个位置。

由于所给图片数目不是太大，先利用 MATLAB 强大的图像计算处理能力去依次遍历 45 张图每个可截图区域点进行截图然后与附件给的小截图进行相似度计算取最大值便可得出问题二的答案。考虑到计算量级和模型的推广这里采用第一问的逆向思路：

首先通过观察小截图，根据小截图的线条黑点数比例和疏密度两个指标来确定小截图的原图所属的类别。再运用 MATLAB 求出小截图的灰度矩阵，用小截图的灰度矩阵与遍历所属类别里图像的截图灰度矩阵，通过对比，最终得到问题二的答案，经检验答案一致。

三、模型假设

- 1) 图片无旋转
- 2) 图片无平移
- 3) 图片无缩放
- 4) 截图线条黑点数比例、疏密度一定程度上能代表原图的类别

四、符号说明

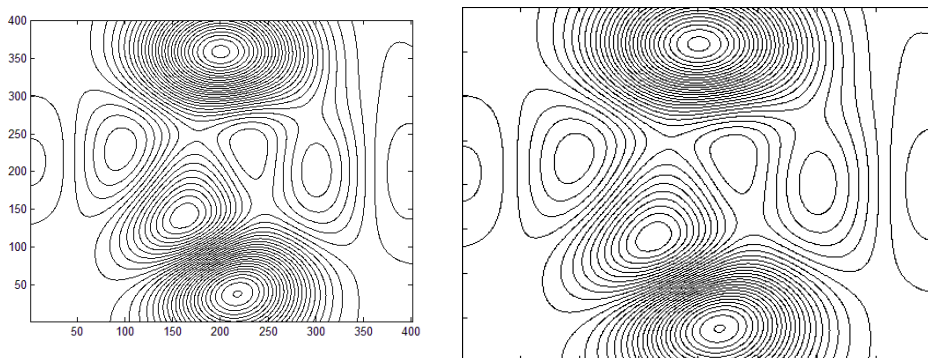
- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| 1) Q_{ij} | 像素值 |
| 2) X_i | 第 i 张图片的灰度矩阵 |
| 3) T_{ij} | 第 i 张图片与第 j 张图片的相似度矩阵 |
| 4) A_{ij} 、 B_{ij} | 两张图像的灰度矩阵 |
| 5) \bar{A} 、 \bar{B} | A、B 矩阵元素的平均值 |
| 6) S_i | 第 i 张截图的灰度矩阵 |
| 7) W_{ij} | S_i 与 S_j 之间的最大相似度 |
| 8) R_{ij} | 最大相似度的相反数 |
| 9) D_1 | 数据特性指标矩阵 |
| 10) R_i | 模糊相似矩阵 |
| 11) $R(B_i)$ | B_i 类中的相似度 |

五、模型建立与求解

5.1 问题一模糊数学模型的建立

5.1.1 图像的预处理

由于题目要求白色部分太多的地方不予考虑，则在做提前，将图片黑色边框之外的白色部分全部截取掉，剩下部分为本题所用，如图（5-1-1）：



处理前处理后

（图 5-1-1）

根据图像的相关知识可知，若要对比两个图的相似度，首先提取图像像素。通过将图像灰度化^[1]，将像素值确定在 $[0,255]$ 之间，建立灰度矩阵 X_i ，再利用公式：

$$R = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2\right) \left(\sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2\right)}} \quad (5.1.1)$$

在 MATLAB 中求出附件中 60 张图片的相似度矩阵 T_{ij} （见附件 1）。

上述中，

X_i 为第 i 张图片的灰度矩阵

T_{ij} 为第 i 张图片与第 j 张图片的相似度矩阵

A_{mn} 、 B_{mn} 为两张图像的灰度矩阵

\bar{A} 为 A 中所有值得平均数

\bar{B} 为 B 中所有值得平均数

根据相似度矩阵 T_{ij} 可知，60 张图像中，存在 16 张一模一样的图像，剔除其中的 15 张，保留一张图像来与其他图像作比较。

5.1.2 图像的模糊聚类分析

模糊聚类分析是根据客观事物间的特征、亲疏程度、相关性，通过建立模糊相似关系对客观事物进行聚类分析的方法。在本题中，将剩余 45 张互不相同的图像（见附件）按照其图像的线条数量多少以及疏密程度划分类别，建立模型。

具体步骤：

首先设论域

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\} \quad n = 1, 2, 3, \dots, 45$$

其中， X_n 表示第 n 张图片。

针对图像性状，提取两个指标：线条数目和线条疏密程度。线条数目根据每张图片中灰度值为 0 的像素点的总数目来反映。

线条疏密程度分为：稀疏和密集两个模糊分布。

然后，在图片预处理之后获取 45 张图片的像素矩阵，再根据线条数目多少这个指标来建立该 45 张图片的数据特性指标矩阵 D_1 （如图 5-1-2），由于量纲不同，故这里采用最大值规格化得到规格后的数据矩阵 D （见附件 2）：

图片	线条多少	线条疏密度	图片	线条多少	线条疏密度
1	0.126032	137	23	0.023162	37
2	0.071472	78	24	0.021198	31
3	0.109392	130	25	0.019884	30
4	0.052474	63	26	0.018157	19
5	0.050483	67	27	0.017616	20
6	0.045993	63	28	0.01685	20
7	0.043101	50	29	0.016173	20
8	0.041855	52	30	0.016105	20
9	0.040311	53	31	0.015834	20
10	0.040324	44	32	0.015333	20
11	0.040182	52	33	0.015171	20
12	0.03643	50	34	0.014344	20
13	0.035678	49	35	0.013918	20
14	0.03492	44	36	0.116875	132
15	0.033985	48	37	0.11762	143
16	0.033193	41	38	0.118677	138
17	0.031947	40	39	0.119496	130
18	0.030795	42	40	0.121074	132
19	0.028689	38	41	0.122598	128
20	0.027314	38	42	0.12312	143
21	0.026908	37	43	0.12379	138
22	0.02472	34	44	0.125057	145
			45	0.125883	159

（图 5-1-2）

由模糊聚类分析，利用最大最小法构造模糊相似矩阵 R_i （见附件 3）

最后根据定义^[2]： R_k 称为 R 的传递闭包矩阵，记为 $t(R)$ 。可以得到将 n 阶模糊相似矩阵 R 改造成 n 阶模糊等价矩阵的方法：从 n 阶模糊相似矩阵 R 出发，依次求平方：

$$R \rightarrow R^2 \rightarrow R^4 \quad ,$$

直到

$$R^{2^i} \quad R^{2^i} = R^{2^i} \quad (2^i \leq n, i \leq \log_2 n)$$

为止，则

$$t(R) = R^{2^i}$$

在问题一中，利用“传递闭包法”对模糊相似矩阵 R 进行处理，得到

矩阵 R 的传递闭包 B 。即： $B=t(R)$ （见附件 4-7）

又根据定义[3]:设 $A \in F(X)$ $A \in F(X)$ $A \in F(X)$ $A \in F(X)$ ，记 $\forall \lambda \in [0,1]$ ，
 $(A)_\lambda = A_\lambda = \{x | x \in X, A(x) > \lambda\}$ 称 A_λ 为 A 的 λ -截集，称 λ 为阈值。

$(A)_\lambda = A_\lambda = \{x | x \in X, A(x) \geq \lambda\}$ 称 $(A)_\lambda$ 为 A 的 λ -强截集

对 $Ax \in X$ ，当 $A(x) \geq \lambda$ 时，当 $x \in A_\lambda$ ，即在 λ 水平上， x 属于模糊集 A ；
 $A(x) < \lambda$ 时，则 x 不属于 A_λ ，即在 γ 水平上， x 属于模糊集 A 。

设 $A = (a_{ij})_{m \times n}$ ，对任意的 $\lambda \in [0,1]$ ，称 $A_\lambda = (a_{ij}^{(\lambda)})_{m \times n}$ 为模糊矩阵 A 的截矩阵，其中：

$$b_{ij}^{(\lambda)} = \begin{cases} 1, & b_{ij} \geq \lambda \\ 2, & b_{ij} < \lambda \end{cases}$$

在 B 中，取 $\lambda \in [0,1]$ ，得到不同的分类结果；这里我们进行以下取值：

$\lambda = 0.9975$ ，得到分类： $\{X_1, X_2 \cdots X_{28}\}$ ， $\{X_{31}, X_{32} \cdots X_{45}\}$ ， $\{X_{29}, X_{30}\}$

$\lambda = 0.9127$ ，得到分类： $\{X_{23}, X_{24}, X_{25}\}$ ， $\{X_{26}, X_{27} \cdots X_{35}\}$

$\lambda = 0.8826$ ，得到分类： $\{X_1, X_3, X_{36} \cdots X_{45}\}$ $\{X_4, X_5 \cdots X_{22}\}$ $\{X_{23}, X_{24} \cdots X_{35}\}$ $\{X_2\}$

综上，我们选取 $\lambda = 0.8826$ 。

由于在此类中 $\{X_2\}$ 中仅有单独一个元素，所以将次省去，得到 B_1, B_2, B_3 ，这三个类别，分别计算 B_1, B_2, B_3 ，类别中图片之间的相似度

$$R_i = \min \left\{ \min (R(B_i)) \right\}, \quad i = 1, 2, 3$$

其中， $R(B_i)$ ：第 i 个类别的图片之间的相似度矩阵

计算结果分别为：

$$R_1 = 0.0242$$

$$R_2 = 0.0173$$

$$R_3 = 0.0665$$

综上，比较 $R(B_2) < R(B_1) < R(B_3)$ 可知， B_3 这个类别的图片之间的相似度最大，通过观察图片分析可知是因为其灰度值为 255（即白点）的像素点远远多于灰度值为 0（即黑点）的像素点，故选择 B_1 类（见附件）。

5.1.3 图像的 TSP 分析

TSP 问题是数图论中最著名的问题之一，即“已给一个 n 个点的完全图，每条边都有一个长度，求总长度最短的经过每个顶点正好一次的封闭回路”。此题中，可以借鉴 TSP 问题的思想，将最短路径问题类比为最大相似度的相反数问题来建立搜索截图的模型。

若将规格为 40×40 像素的截图看做解空间的一个可行解， C_1 类图像中则存在 $m = 4 \times 302 \times 394$ 个可行解。故设解空间为：

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}, \quad (n=1, 2, 3, \dots, m)$$

其中， S_i 为第 i 张截图的灰度矩阵； 302×394 表示原始图像中截图点位置的可行区域。

目标函数：
$$W_{ij} = \min \{W\{S_i, S_j\}\}$$

化为标准型：

$$E_{ij} = -W_{ij}$$

其中， W_{ij} 为 S_i 与 S_j 之间的最大相似度; R_{ij} 为最大相似度的相反数。

通过求解 TSP 问题，可以访问所有可行解，得到相似度最大的截图。

5.1.4 模拟退火法求解

模拟退火法^[4]是一种通用概率算法，用来在一个大的搜寻空间内寻找问题的最优解，具有能有效地解决 NP-hard 问题、避免陷入局部最优、对初值没有强依赖性等特点，在各领域已获得了广泛地应用。

算法步骤^[4]：

步骤一：令当前温度 $T = T_0$ ，即开始退火的初始温度，随机生成一个初始解 x_0 ，并计算相应的目标函数值 $E(x_0)$ 。

步骤二：令 T 等于冷却进度表的下一个值 T_1 。

步骤三：根据当前解 x_i 进行扰动，产生一个新解 x_j ，计算相应的目标函数值 $E(x_j)$ ，得到 $E = E(x_j) - E(x_i)$ 。

步骤四：若 $E < 0$ ，则新解 x_j 被接受，作为新的当前解；若 $E > 0$ ，则新解 x_j 按概率 $\exp(-E/T_i)$ 接受(即Metropolis 准则)， T_i 为当前温度。

步骤五：在温度 T_i 下，重复 L_k 次扰动和接受过程(T_f 为Markov 链的长度)，即执行步骤三和步骤四。

步骤六：判断温度 T 是否等于 T_f ，是则终止算法；否则转到步骤二继续执行。

利用模拟退火法求解TSP 问题，将一个序列当成一个解，每个解对应一个目标函数值，因为本模型求解的实际问题是类比TSP问题，故不能通过二次交换、三次交换等扰动方式不断产生新解，这里我们采用随机函数产生新截图的起始行列数，从而搜索解空间，寻找最优的调度序列。

5.2 问题二模型的建立与求解

5.2.1 截图的判断与预处理

仿照问题一，将附件中截图导入 MATLAB，得到截图的灰度矩阵。分析灰度矩阵已知截图的图像特征，根据小截图的隶属度，可大概确定截图 1，截图 2(如图 5-2-1)的原图应在线条数量较多的那一类。且截图 2 顶部的灰度值均为 255，可判断出截图 2 顶部均为空白，则截图 2 应为原图的上顶部截图。根据以上判断，简化了寻找原图的过程，缩短了 MATLAB 的运算时间。



截图 1



截图 2

图 5-2-1

5.2.2 通过遍历得到原图

根据问题一的求解思路,问题二可以采用全局优化问题的随机搜索算法来得出答案。

由于随机搜索算法一般都采用大范围的粗略搜索与局部的精细搜索相结合的搜索策略。只有在初始的大范围搜索阶段找到全局最优解所在的区域,才能逐渐缩小搜索的范围,最终求出全局最优解。

模拟退火算法是通过控制参数 T 的初值 T_0 来实现大范围的粗略搜索与局部的精细搜索。模拟退火算法只要控制参数选取合适即可找出全局最优解,但考虑到已将剩余的 45 张图片分类和遍历算法的稳定性。根据基本假设分析不难判断题目所给的截图 1、截图 2 所属原图的类别属于 B_1 ,再将 B_1 类图片截图的灰度矩阵与截图的灰度矩阵一一进行比对,总能够找到匹配度为 100% 的部分。那么此时就可以确定附件所给的截图 1、截图 2 来自哪张原图的哪个位置,从而完成问题二的求解。

六、模型评价

6.1 模型的优缺点

模型优点：问题一的解决过程中利用模糊聚类分析将图片进行分类后，再利用随机搜索算法解决全局优化问题时效率快、稳定性高的特点，避免了对逐张图片像素点遍历带来的迭代次数多、计算量大的弊端，借助现代优化算法的高效性、成熟性得出全局最优解。

模型缺点：由于问题解决过程中发现所给图片的灰度图像为二值图像且假设所给图像都不存在旋转、平移、缩放等问题，对于这一类问题的解决还需要进一步的图像处理之后再利用本模型。

6.2 模型的改进与推广

模型的改进：在 MATLAB 中对原图进行图像处理时，可以利用 MATLAB 自带的图像处理函数将所给彩色图片的灰度图像转成二值图像。利用 meanshift 算法、sift 算法找出图像特征向量，将图片的特征向量作为模糊聚类分析时论域元素的一个性状，同时由 MATLAB 计算出彩色图片的灰度直方图也可作为图像相似度匹配的一个重要指标。从而使得本模型适用于更普遍的图形辨识问题。

模型的推广：图像的匹配与分割问题实质是寻找相似度，这种思想同样适用于文字匹配、纸片还原、音频、视频的搜索与剪辑。

模拟退火法是一种通用概率演算法，用来在一个大的搜寻空间内找寻命题的最优解，是解决 TSP 问题的有效算法，也可以较高的效率求解最大截问题、0-1 背包问题、图着色问题、调度问题等等

七、参考文献

- [1]魏二岭,基于特征的图像分割与匹配的研究和应用,9—40 页,2009 年.
- [2]赵静,数学建模与数学实验,北京市:高等教育出版社,2008 年.
- [3]易鑫,纹理图像的特征提取和聚类算法研究,7—13 页,2008 年.
- [4]卓金武, Matlab 在数学建模中的应用[M],北京:北京航空航天大学出版社,2011

附录

问题一结果:

- 1) 40×40 截图选自第 60 张图片
- 2) 20×20 截图选自第 1 张图片

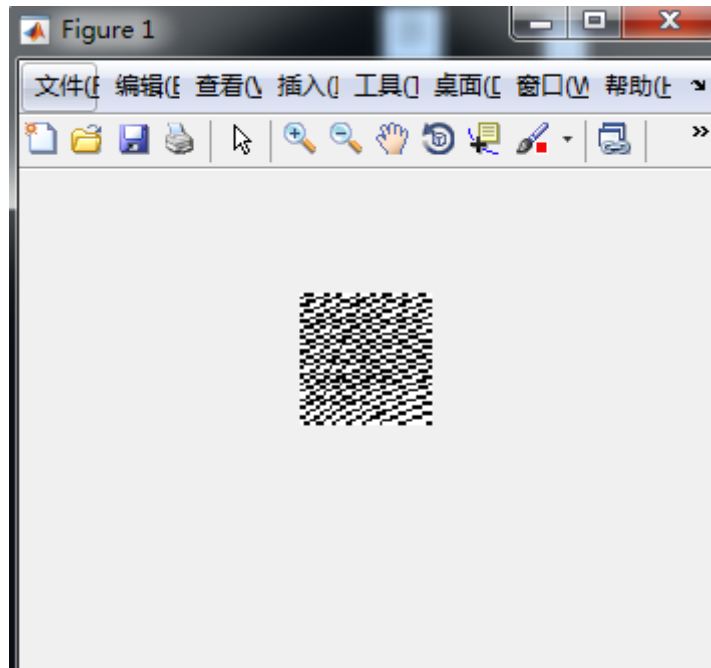


图 1 40×40 截图

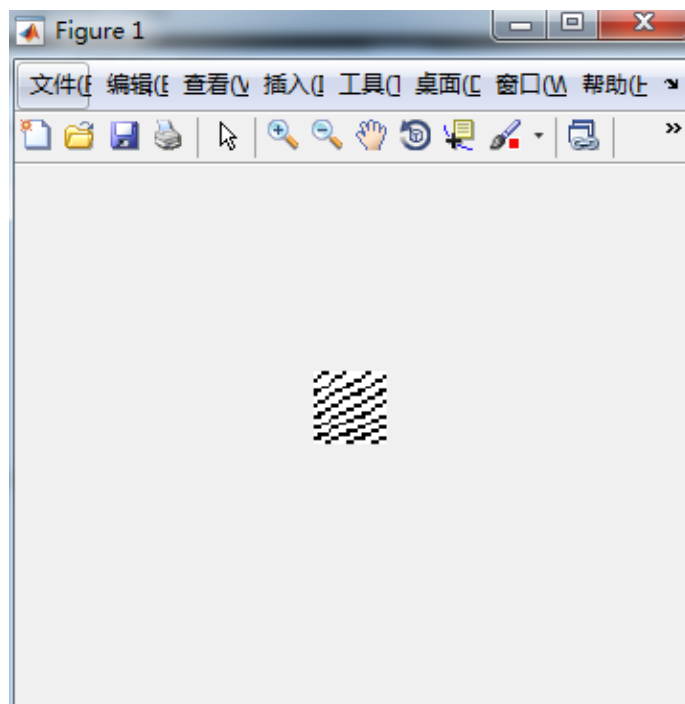


图 2 20×20 截图

问题二结果:

yuantu_1 位于第三张原图灰度矩阵的 **82x266** 处

yuantu_2 位于第一张原题灰度矩阵的 **206x94** 处



图 3 yuantu_1

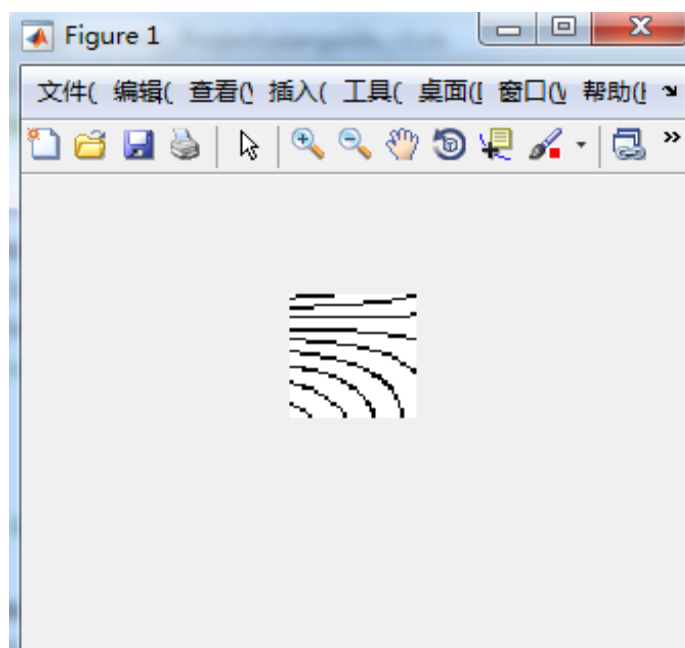


图 4 答案截图



图 5 yuantu_2

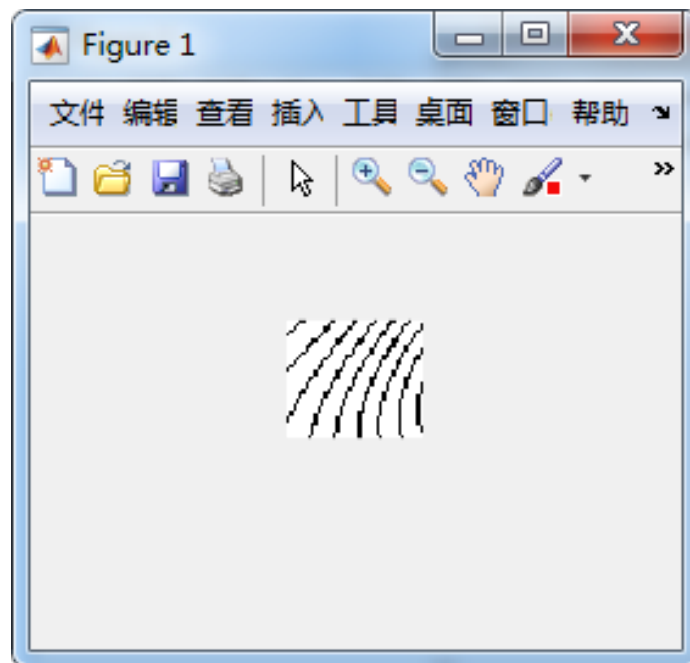


图 6 答案截图

MATLAB 部分重要代码

代码一:

%矩阵相似度函数

%fun_xiangsudu.m

function [R] = xiangsudu(X) %X 是一个元胞数组，存放元素是图片的灰度矩阵函数功能是求图片的灰度矩阵之间的相似度

Num = size(X,2); %确定图片的数量

r = [];

num = 0;

for m=1:Num

```

    for n=1:Num
        num = num + 1;
        r(num) = corr2(X{1,m},X{1,n});    %r 为相似度行向量
    end
end

k=1;
for i=1:Num
    for j=1:Num
        R(i,j)=r(k);        %将 r 向量转化成矩阵
        k=k+1;
    end
end
disp('done!');

```

代码二:

%利用模糊聚类分析方法对 45 张图片进行分类

```

n = 1;
for i = 1:size(X,2)
    A1(n)= sum(sum(X{i}==0))/numel(X{i});    %A1 是值为 45 张图片的线条数(黑
    点数刻画) 比例的行向量
    n = n+1;
end
%用 A2 向量来刻画 45 张图片的疏密度 (某几行上的黑点数刻画)
temp1 = fix(size(X{1},1)/3);    %对 X 行数进行三等分
i1 = round(unifrnd(1,temp1));    %在每个等分区域产生一个 1 到 temp1 的随
    机数作为行数值
i2 = round(unifrnd(temp1,temp1*2));
i3 = round(unifrnd(temp1*2,size(X{1},1)));
for i = 1:size(X,2)
    tempb = X{i};
    tempb1 = tempb(i1,:);    %提取该类某张图片矩阵的某一行
    tempb2 = tempb(i2,:);
    tempb3 = tempb(i3,:);
    numb1 = length(find(tempb1==0));    %返回某行等于 0 (黑点值) 的数值
    numb2 = length(find(tempb2==0));
    numb3 = length(find(tempb3==0));
    A2(i)= numb1 + numb2 + numb3;    %刻画该类图片的疏密度的行向量 A2
end
%45 张图片作为论域的元素, 每个元素的指标为疏密度和线条数, 则可以得出数
    据矩阵 data
data = [A1',A2'];
%模糊聚类分析程序
%第一步构造数据矩阵
D = data;    %输入特性指标矩阵

```

```

n1 = size(D,1); %5
m1 = size(D,2); %4
b = max(D); %用最大值规格化将数据规格化每列最大值
a = D';
for i=1:m1
    d(i,:)= a(i,:)./b(i);
end
D = d' %规格化完毕，X 就是规格后的数据矩阵
%建立模糊相似矩阵（这里采用最大最小法建立模糊相似矩阵）
for j=1:n1
    for i=1:n1
        temp1 = min([D(i,:);D(j,:)]); %向量
        fenzi = sum(temp1); %数值
        temp2 = max([D(i,:);D(j,:)]);
        fenmu = sum(temp2);
        R(i,j)=fenzi/fenmu;
    end
end
R %R 为模糊相似矩阵
%第三步开始求传递闭包
B=zeros(n1);
flag=0;
while flag==0
    for i= 1: n1
        for j= 1: n1
            for k=1:n1
                B(i,j) = max(min(R(i,k), R(k,j)), B(i,j)); %R 与 R 内积，先取小再
取大
            end
        end
    end
    if B==R
        flag=1;
    else
        R=B;%循环计算 R 传递闭包
    end
end
end
B %45*45
[B_1,B1pos] = sort(B(:)); %B1 是 B 中所有元素升序排序后的向量,pos 是 R1 结
果中元素的原始位置的向量(列访问顺序)。
%模糊聚类分析的程序结束，将 B 与 B_1 导入 excel 后结合 B_1 的排序结果进行
动态聚类分析最终得出分类结果 B1,B2,B3 三个类别。

```

代码三：

%问题 1：对 B1 类利用模拟退火算法求 40*40 相似度最高的图片

```

clear
    clc
    load('X.mat');
%读入 B1 分类后的图片
C1 = cell(1,12);
C1(1) = X(1);C1(2) = X(3);C1(3) = X(36);C1(4) = X(37);C1(5) = X(38);C1(6) = X(39);C1(7)
= X(40);C1(8) = X(41);C1(9) = X(42);C1(10) = X(43);C1(11) = X(44);C1(12) = X(45);

    a = 0.99;% 温度衰减函数的参数
    t0 = 97; tf = 3; t = t0;
    Markov_length = 7000; % Markov 链长度
    amount = size(C1{1},1)*size(C1{1},2); %302*394
    i = round(rand(1)*11)+1; %1 到 12
    m = round(rand(1)*301)+ 1; %1 到 302
    n = round(rand(1)*393)+ 1; %1 到 394
    temp1 = C1{i};
    sol_new =temp1(m:m+39,n:n+39); % 产生初始解
% sol_new 是每次产生的新解; sol_current 是当前解; sol_best 是冷却中的最好解;
    E_current = inf;E_best = inf; % E_current 是当前解对应的相似度;
% E_new 是新解的相似度;
% E_best 是最优解
    sol_current = sol_new; sol_best = sol_new;
    p = 1;
    while t>=tf
        for r=1:Markov_length % Markov 链长度
            % 产生随机扰动随机产生 i,m,n。从而生成下一个状态 j（下一张截
            图）
                i = round(rand(1)*11)+1; %1 到 12
                m = round(rand(1)*301)+ 1; %1 到 302
                n = round(rand(1)*393)+ 1; %1 到 394
                temp2 = C1{i};
                sol_new =temp2(m:m+39,n:n+39); %产生新解求 20*20 则改为 sol_new
                =temp2(m:m+19,n:n+19)
                %检查是否满足约束
                if abs(corr2(sol_current,sol_new))>1 %确保不出现空白截图
                    continue;
                end
                % 计算目标函数值——相似度（即内能）
                E_new = -(fun_xiangsi(sol_current,sol_new,20));

            if E_new < E_current
                E_current = E_new;
                sol_current = sol_new;
                if E_new < E_best
                    % 把冷却过程中最好的解保存下来

```

```

        E_best = E_new;
        sol_best = sol_new;
    end
else
    % 若新解的目标函数值小于当前解的,
    % 则仅以一定概率接受新解
    if rand < exp(-(E_new-E_current)./t)
        E_current = E_new;
        sol_current = sol_new;
    else
        sol_current = sol_current;
    end
end
end
end
t=t.*a;    % 控制参数 t (温度) 减少为原来的 a 倍
end

disp('最优解为: ')
disp(sol_best)
disp('最大相似度: ')
disp(-E_best)
imshow(sol_best)
% save pic40 sol_best;

```

代码四:

%问题 2: 计算附件截图 1 出自哪张原图的哪个位置

```
k = 0;r1 = [];
```

```
temp = imread('F:\matlab\剔除后\yuantu1.png'); %导入附件给的原有截图
```

```
thresh = graythresh(temp); %自动确定二值化阈值
```

```
yuanjietutu_1 = double(im2bw(temp,thresh)); %对图像二值化
```

```
yuanjietutu_1 =yuanjietutu_1 .*255;
```

```
for i = 1:size(X,2)
```

```
    temp1 = X{i};
```

```
    for m = 1:302
```

```
        for n=1:394 %302*394 是去掉黑边框后的可截图区域
```

```
            k=k+1;
```

```
            jietu = temp1(m:m+39,n:n+39);
```

```
            r1(k) = abs(corr2(jietu,yuanjietutu_1));
```

```
        end
```

```
    end
```

```
end
```

%求最大相似度出现在哪张原图的哪个位置

```
N = 302*394;
```

```
[r1_max,r_pos] = max(r1);
```

```
i_pos = fix((r_pos-1)/N)+1
```

```
%nm = mod(r_pos,304*396)-1;
m_pos = fix((mod(r_pos,N)-1)/394)+1
n_pos = mod(mod(r_pos,N)-1,394)+1
temp2 = X{i_pos};
temp3 = temp2(m_pos:m_pos+39,n_pos:n_pos+39);
imshow(temp3);
```

代码五:

%问题 1: 精确计算任意两张图片的相似度值函数

```
function r = fun_xiangsi(A,B,n)
flag = 0;
for i=1:n
    for j= 1:n
        if A(i,j)==B(i,j)&A(i,j)==0
            flag = flag +1;
        end
    end
end
end
r = flag/n^2;
```

其余代码见附件