

Morris 水迷宫视频中目标识别与轨迹跟踪的研究与实现^①

刘智勇¹ 朱理²

(1.湖南大学 软件学院 湖南 长沙 410082; 2.湖南大学 计算机与通信学院 湖南 长沙 410082)

摘要: 对 Morris 水迷宫视频中大鼠的运动轨迹进行跟踪是研究实验室大鼠空间学习和记忆能力的必要环节。为了有效且准确地对 Morris 水迷宫视频中大鼠的运动轨迹进行跟踪,设计了一个基于模板匹配和轨迹预测的 Morris 水迷宫视频分析系统,该系统能自动配置到任何大小的 Morris 水迷宫。通过简单的鼠标操作来快速准确地定位水迷宫和逃逸平台的位置;采用基于最大类间方差算法来把大鼠从水迷宫中分割出来;设计了基于模板匹配和轨迹预测的小区域搜索算法来跟踪迷宫中的大鼠。实验结果表明,该系统性能可靠,能有效地对水迷宫中的大鼠进行识别和跟踪并计算出各种水迷宫运动参数。

关键词: Morris 水迷宫; 轨迹跟踪; 轨迹预测; 最大类间方差; 模板匹配

Research and Implementation of Object Recognition and Trajectory Tracking in Morris Water Maze Videos

LIU Zhi-Yong¹, ZHU Li² (1. School of Software, Hunan University, Changsha, 410082, China;
2. School of Computer and Communication, Hunan University, Changsha, 410082, China)

Abstract: It is necessary to track the rat in a Morris Water Maze for the research on spatial learning and memory of laboratory rats. In this paper, a video analysis system based on template matching and trajectory prediction is developed in order to effectively and accurately track the trajectories of the rats in the Morris Water Maze videos. The system can be automatically configured to any Morris Water Maze. Simple mouse operations are done to quickly and effectively locate the maze and the escape platform. Separation of the rat from the maze is based on the maximum interclass variance algorithm. A minimum area searching strategy based on template matching and trajectory prediction is developed to track and identify the swimming rat in the maze. Repeated experiments show that the system is reliable and can effectively identify and track the rat and obtain all the behavior parameters.

Keywords: morris water maze; trajectory tracking; trajectory prediction; maximum interclass variance; template matching

1 引言

在医学和心理学的研究中经常需要利用实验动物来做大量的实验,并把实验过程录制成视频格式,通过从视频中提取信息来研究实验动物的学习和记忆能力等。检学习记忆的方法很多,如 Y 型迷宫、Morris 水迷宫方法等,主要用于测试实验动物(大鼠或小鼠)对空

间位置和方位的学习记忆能力。它是利用强迫动物游泳,在水中设置平台、盲端及出口,强迫动物寻找平台或出口的方法来实现的。英国心理学家 Morris^[1]及其同事利用大鼠在盛有水和牛奶的混悬的不透明的水池中搜寻目标的方法,研究大鼠的学习记忆和空间定位以及认知能力,取得了令人瞩目的成就。本实验中

^① 收稿时间:2009-10-02;收到修改稿时间:2009-11-15

的水迷宫是一个内径 120cm, 高 50cm 的圆形不锈钢水池, 水迷宫的内壁被刷成黑色, 内置一个高度为 35cm 的可移动的黑色圆台, 圆台顶部直径为 10cm, 在实验中, 可以根据实际要求, 将圆台放置于任意象限。Morris 水迷宫(Morris Water Maze)实验的基本过程是把白色大鼠放进注满了水的黑色水池中, 在水池中放有一个低于水面 2 cm 的黑色圆台(即逃逸平台, 大鼠搜索到该平台后可以站立在上面), 实验通过观察和记录大鼠入水后搜寻到逃逸平台的时间(潜伏期), 策略和轨迹等参数, 从而可以分析和推断大鼠学习记忆和空间认知等方面的能力。

本研究来源于湖南长沙湘雅医学院的实际项目需求, 由于目前商业上开发的各种 Morris 水迷宫分析系统^[2]大都不能对用户所录制的 Morris 水迷宫视频录像进行分析, 只能对使用其系统所录制的特定大小的视频录像进行分析, 并且需要和特定的硬件设备相连。而且这些系统往往由于其价格昂贵, 操作复杂, 检测精度不够等因素而不能满足用户的需求。通常对 Morris 水迷宫视频的分析主要包括“迷宫定位”、“目标检测”和“跟踪定位”等三大部分。“迷宫定位”的目标是确定 Morris 水迷宫的位置信息, 使得后续对大鼠的跟踪识别仅限于迷宫所处的区域中。目前常用的定位迷宫的方法一般有两种: ①Andr é s Rodr í guez^[3]等所使用的基于图像灰度直方图的方法; ②Erland S.Hval^[4]等使用的“映射迷宫”算法。基于图像的灰度分布直方图方法首先通过在灰度分布直方图上找出两个最大的峰值, 然后把位于该两个峰值之间的最小值点作为分割阈值, 该方法有很大的局限性, 要求迷宫颜色和背景颜色对比度大, 并且用此方法只能把迷宫从背景中分割出来, 而分割之后迷宫的位置信息无法确定, 此时需要另外设计算法来对分割出来的迷宫进行定位。文献[4]中的“映射迷宫”算法通过多步骤的图像运算来提取迷宫的位置信息, 此算法虽然可以把迷宫从背景中分离出来, 并可以得到迷宫的位置信息, 但由于该算法需要大量的图像处理运算, 并且由于其对扫描区域算法设计的不确定性, 从而使得最终得到的迷宫位置信息的精确度不高。

“目标分割”的目的是在视频流中将大鼠从其迷宫背景图像中分割出来, 其有效性、准确性以及快速性对于后期的目标跟踪定位极其重要。目前, 对运动目标的检测方法主要有三类: ①光流法^[5]。该方法基

于运动目标随时间变化的特性, 大多数情况下能有效的提取和跟踪运动目标, 但是光流法抗噪性能差, 计算量巨大, 难以满足实时性的要求。②背景相减法^[6]。这类方法易于实现, 但对于场景的变化特别敏感, 抗噪性能差。在 Morris 水迷宫这种特殊的应用情况下, 大鼠在找到逃逸平台前, 一直处于游动状态, 而大鼠的游动产生水波所带来的反射将会严重影响对大鼠的识别, 故采用背景相减法后, 可能会出现和大鼠同样大小的干扰块或干扰杂点。③时间差分法^[7]。这种方法通过比较相邻的两帧或三帧图像间的差异来实现对运动目标的检测, 它对环境具有较强的自适应性, 但一般不能完整提取运动目标, 在运动实体内部容易产生空洞现象。

“跟踪定位”的目的是确定大鼠在水迷宫中的运动轨迹。一般对大鼠进行跟踪定位常用的是穷举搜索算法, 该算法需要在整个迷宫区域内搜索, 而由于一个视频往往由几百到几千个视频帧组成, 如果对每一个视频帧都采用穷举搜索策略, 必定会极大的增长系统的处理时间。

本文的研究正是针对上述问题, 在综合考虑系统健壮性和易操作性的基础上, 采用简单的鼠标操作来快速准确地定位迷宫和逃逸平台的位置, 采用最大类间方差算法来把大鼠从迷宫背景中分离出来, 采用基于模板匹配和轨迹预测的小区域搜索算法来识别和跟踪大鼠。

2 系统设计方案

本文提出的设计方案主要包括以下四个部分: ①预处理; ②平台定位; ③鼠宫分离; ④轨迹跟踪。以下将详细介绍各个部分的工作原理与实现方法。

2.1 预处理

预处理的目的是计算出大鼠在每一帧内平均移动的像素数, 该数据在目标跟踪时作为设置最小搜索区域的依据。由于实验中录制的 Morris 水迷宫视频的帧速为 15 帧/秒, 水迷宫的直径为 1.2m, 水迷宫在视频中的大小为 360×360 像素所包围的圆形区域。根据实验可知大鼠在水迷宫中游动的最大速度介于 0.6-0.9m/s, 在此取中间值 0.75m/s 作为大鼠游动的最大速度, 由此可以计算出大鼠每一帧内游动的最大像素数为:

$$\left(\frac{360}{1.2} \text{ pixels/m}\right) * (0.75 \text{ m/s}) * \left(\frac{1}{15} \text{ s/frame}\right) * 1 \text{ frame} \\ = 15 \text{ pixels}$$

2.2 平台定位

平台定位的目标是确定 Morris 水迷宫和逃逸平台的位置信息,使得后续处理中对视频帧的操作仅限于迷宫所处的区域中,这样既减少了图像中迷宫外的噪音对图像处理带来的不利影响,同时也极大地减少了运算量。

Erland S.Hval^[4]等人使用的“映射迷宫”算法是通过多次图像处理操作来定位迷宫的位置的,该算法的具体思想如下:

- 1) 首先取得静态的原始迷宫图像 A;
- 2) 然后对图像 A 进行阈值、腐蚀和低通滤波等一系列处理后得到二值图像 B;
- 3) 接着对二值图像 B 从中心起进行穷举扫描,搜索迷宫边界,使得迷宫边界之外的颜色为黑色,迷宫边界以内为白色,通过该步骤处理后得到二值图像 C;
- 4) 最后使二值图像 C 与原始迷宫图像 A 进行 AND(与)运算后得到分割出的迷宫图像 D。

该算法可行,但是由于需要一系列的图像处理操作,并且由于其对边界搜索定义的不确定性使得最终得到的迷宫位置信息的精确性不够。为了达到快速且精确定位迷宫的目的,本文从算法的简单性和操作的方便性等方面综合考虑,采用通过捕获鼠标消息,利用简单的鼠标操作在水迷宫上画一个与其等大的圆,同时把该圆所在的位置作为水迷宫的位置。算法的基本步骤如下:



图 1 定位迷宫和安全岛

- 1) 捕获鼠标左键单击事件,以该点位置作为参考点,在迷宫图像上中画一个圆;
- 2) 调整圆心位置。捕获鼠标移动消息,移动该圆,使其移动到迷宫的中心位置;
- 3) 调整圆的大小。鼠标位于圆内,按住鼠标左键

并移动,可以缩小该圆,当鼠标位于圆外,此时按住鼠标并移动,可以扩大该圆;

- 4) 当确定好迷宫的位置后,把定位值写入数据库中,实现对迷宫和逃逸平台定位值的保存。

通过该步骤之后可以准确地定位迷宫和安全岛的位置,效果如图 1 所示,其中白色的大圆代表水迷宫的位置,白色小圆代表了逃逸平台的位置。

2.3 鼠宫分离

“鼠宫分离”的目标是对定位后的水迷宫所在的区域进行二值化,把大鼠从水迷宫中分离出来。M. Grossmann^[8]等使用的是背景相减的方法,由于背景相减抗噪性差,并且大鼠的移动会导致水面反射,从而背景相减后会产生干扰区域或者干扰杂点。本文采用最大类间方差算法来选择分割阈值,该算法以最佳门限将图像灰度直方图分割成两部门(背景和背景),使两部分类间方差取最大值,即分离性最大,从而把目标从背景中分离出来。该算法的描述如下:

设图像灰度级 $1 \sim M$, 第 i 级象素 n_i 个,总象素 $N = \sum_{i=1}^M n_i$, 则第 i 级灰度出现的概率为 $P_i = n_i/N$ 。设灰度门限值为 k , 则图像像素按灰度级被分为两类:

$$\begin{cases} C_0 = \{1, 2, \dots, k\} \\ C_1 = \{k+1, \dots, M\} \end{cases} \quad (1)$$

图像总平均灰度级: $\mu = \sum_{i=1}^M i \cdot P_i$, C_0 类的平均灰度级为: $\mu(k) = \sum_{i=1}^k i \cdot P_i$, 像素数为: $N_0 = \sum_{i=1}^k n_i$; C_1 类的平均灰度级为: $\mu - \mu(k)$, 像素数为: $N - N_0$ 。两部分图像所占比例分别为:

$$\begin{cases} w_0 = \sum_{i=1}^k P_i = w(k) \\ w_1 = 1 - w(k) \end{cases} \quad (2)$$

对 C_0, C_1 均值做处理:

$$\begin{cases} \mu_0 = \mu(k)/w(k) \\ \mu_1 = [\mu - \mu(k)]/[1 - w(k)] \end{cases} \quad (3)$$

图像总均值可化为: $\mu = w_0 \mu_0 + w_1 \mu_1$, 类间方差: $\sigma^2(k) = w_0 (\mu - \mu_0)^2 + w_1 (\mu - \mu_1)^2 = w_0 w_1 (\mu_0 - \mu_1)^2$ 化为: $\sigma^2(k) = [\mu \cdot w(k) - \mu(k)]^2 / \{w(k) \cdot [1 - w(k)]\}$ 。 k 从 $1 \sim M$ 变化,使 $\sigma^2(k)$ 最大的 k 即为所求之最佳门限值。图 2 为采用最大类间方差方法后得到的分割效果图。

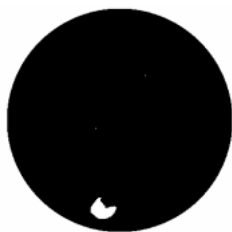


图2 “鼠宫分离”效果图

2.4 目标识别和轨迹跟踪

目标识别和跟踪的目的就是通过对视频帧序列进行分析,对大鼠进行识别并计算出大鼠在每帧图像上的位置。可靠性和精度是跟踪过程中的两个重要指标。本文提出的解决方案分为对第一帧图像的识别和对其它帧图像的识别。算法的主要思想如下:

首先对第一帧图像的识别,获取第一帧图像中大鼠的位置,然后识别第二帧图像。在识别第二帧图像前,预测大鼠在第二帧图像中的最小区域范围,然后使用基于模板匹配的算法在第二帧图像的该区域中进行识别。在识别完第二帧图像中大鼠的位置之后,利用此位置信息,预测第三帧图像中大鼠所在的最小区域,然后依次往下,直到识别完所有的视频帧为止。下面对第一帧图像识别算法和对其它帧图像识别的算法分别进行介绍。该识别算法的流程如图3所示:

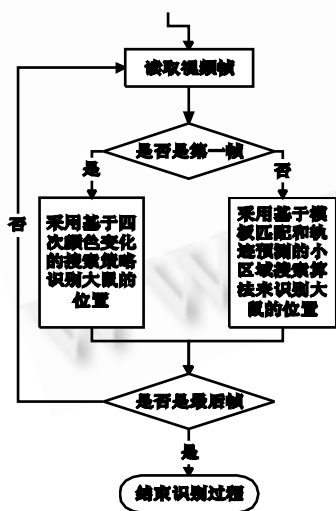


图3 识别算法流程

2.4.1 识别第一帧

为了识别第一帧图像中大鼠的位置,本文设计了基于四次颜色变化的搜索策略算法。根据平台定位步

骤得出的迷宫的位置信息,在该迷宫区域中采用穷举搜索算法,即从上到下,从左到右进行搜索。为此设置了BOOL类型的数组,数组中的元素分别为flag[0], flag[1], flag[2], flag[3],

初始值都设置成FALSE,分别代表了一次扫描过程中,从左到右四次颜色的变化。如图4所示,A代表了第一次从白色区域进入黑色区域的分界点,B代表了第二次从黑色区域进入白色区域的分界点,C代表了第三次从白色区域进入黑色区域的分界点,D代表了第四次从黑色区域进入白色区域的分界点。进行逐行扫描,每一次扫描都记下颜色发生变化的点的坐标值并把相应的布尔变量赋值为TRUE,故设置一个CPoint类型的数组,数组中的元素分别为point[0], point[1], point[2], point[3],分别用来记录当颜色发生变化时A,B,C,D四点的坐标值。在一次行扫描结束后,判断布尔表达式即四个BOOL类型变量进行AND(与)操作的的值是否为真,如果为假,说明此次行扫描中没有出现白色区域,则继续进行扫描;如果为真,则说明此次扫描过程中至少经过了一个白色区域,该白色区域可能是大鼠也可能是干扰点(如图4中的小白点),故继续对中间两点即B点和C点的坐标信息进行判断,即判断point[1]与point[2]两点的横坐标相减的绝对值是否大于等于12个像素,此举是为了排除干扰点可能造成的误判,如果大于等于12,则取point[1]与point[2]两点之间的中点作为识别出的大鼠的坐标位置,如果小于12个像素,则继续进行扫描,直到找到符合条件的点为止。算法如图5所示。

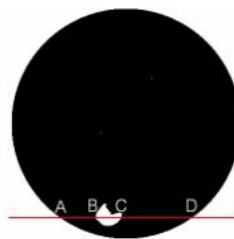


图4 第一帧图像的扫描过程

2.4.2 识别其它帧

事实上,用对第一帧进行识别的算法同样可以对其它帧进行识别,但是由于此方法采用的是穷举扫描策略,即对定位后的整个迷宫区域进行扫描,如果使用该方法对其他帧进行识别的话,就加大了算法的计

算量及运算时间,故在此设计了基于模板匹配与轨迹预测的小区域搜索策略来对其它帧进行识别。

```

输入: 水迷宫的位置信息rectMaze(rectMaze为CRect类型变量)
输出: 视频帧中大鼠的位置pointRat(pointRat为CPoint类型变量)
算法:
1  for(i = rectMaze.top; i <= rectMaze.bottom; i++){
2  int n = 0;
3  flag[0] = flag[1] = flag[2] = flag[3] = FALSE;
4  for( j = rectMaze.top; j <= rectMaze.bottom; j++){
5      取得第i行第j列位置的点所对应的颜色值pixelValue1;
6      取得第i行第j+1列位置的点所对应的颜色值pixelValue2;
7      if(abs(pixelValue1 - pixelValue2) == 255){
8          flag[n] = TRUE;
9          point[n].x = j;
10         point[n].y = i;
11         n++;
12     }
13     if(n == 4)
14         break;
15 }
16 if(flag[0] && flag[1] && flag[2] && flag[3]){
17     if(abs(point[2].x - point[1].x) > 12){
18         pointRat.x = (int)(point[2].x + point[1].x)/2;
19         pointRat.y = point[2].y;
20         return;
21     }
22 }
23 }
    
```

图 5 扫描算法

此方法是根据上一帧得到的大鼠的位置坐标,来预测下一帧图像中大鼠所在的最小区域范围。此区域的设定是依据“大鼠在上一帧图像中的位置”、“大鼠从上一帧游动到下一帧所经过的最大像素数”和“大鼠在视频帧中的大小”等三个因素来确定的。根据在“预处理”中的计算可知,大鼠从上一帧游动到下一帧经过的像素数为 15 个,而在视频帧中大鼠的尺寸是长 60 像素,宽 13 像素,考虑到大鼠的可能向东、南、西、北四个方向游动,故计算出的最小搜索区域为以上一帧识别出的大鼠位置为中心的 120×120 像素区域。然后采用一个 7×7 的模板在此区域中进行搜索,此时有两种搜索策略可选:

策略一:对 7×7 模板下的 49 个像素都进行判断。如果该模板下所对应的 49 个像素的颜色值全为 255,即白色,则认为该点是大鼠的身体的一个部分,并记下该点的坐标值,然后继续搜索该区域,直到整个区域都搜索完毕为止,得到所有的坐标值,然后对所有坐标值进行平均,即得到该帧图像中大鼠的位置。

策略二:此时只需判断 4 个对角点的颜色值,即 (x-7,y-7), (x+7,y-7), (x-7,y+7), (x+7,y+7) 等四点的颜色值,判断此四点的灰度值是否都为 255,

后续计算跟策略一相同。

3 实验结果

在 Window XP 操作系统下采用 VC6.0 编程实现了整个 Morris 水迷宫视频分析系统,系统运行时的图形用户界面如图 6 所示。



图 6 系统运行时的人机交互界面

本系统通过对已采集的 64 个 Morris 水迷宫视频录像进行分析(视频录像由长沙湘雅医学院提供),结果显示其正确识别率达到了 98.4%以上,其中只有一个视频录像出现了识别出的轨迹不正确的情况,其主要原因是该视频拍摄时光线很暗,使得大鼠和迷宫背景对比度不明显,从而导致“鼠宫分离”过程不成功。图 7 所示的是对同一大鼠在 Morris 水迷宫中四天游泳的视频录像进行分析后所得到的运动轨迹,其中迷宫中的小圆代表的是游泳的起点位置,大圆代表的是逃逸平台的位置。

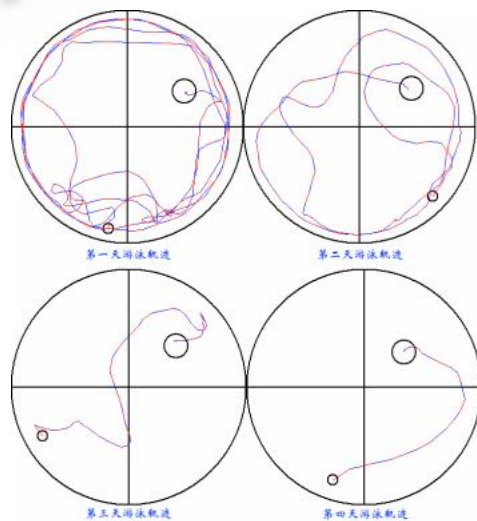


图 7 同一大鼠在 Morris 水迷宫中四天游泳的轨迹

4 结论

本文所设计的 Morris 水迷宫视频分析系统解决了目前商业上开发的 Morris 水迷宫分析系统不能对用户所录制的 Morris 水迷宫视频录像进行分析的问题,并且该系统能处理各种大小的 Morris 水迷宫视频录像。同时本文提出了一种新的使用简单的鼠标操作来定位迷宫的方法,与传统定位迷宫的方法相比,该方法简单实用,具有更高的定位精度。同时本文设计了基于模板匹配和轨迹预测的小区域搜索算法,实验结果表明该算法在迷宫背景和大鼠对比度较高的情况下可以快速准确地对迷宫中的大鼠进行跟踪识别,具有良好的识别效果,抗干扰能力强,实用性强。在运动目标跟踪、运动目标检测和基于简单背景下的生物特征识别等领域可以获得有效运用。

参考文献

- 1 Morris R. Development of a water-maze procedure for studying spatial learning in the rat. *Journal of Neuroscience Methods*, 1984, 11:47 – 60.
- 2 HVS 2020 Plus, HVS Image, P.O. Box 2100 Buckingham MK10, WH, UK. [2008-08-15] <http://www.hvsi-image.com>.
- 3 Rodríguez A, Ortega-Álvaro, Sola A, Micó J A, Trelles O. Automatic tracking analysis in Morris Water Maze biomedical videos. *Proc. of the Fourth IASTED International Conference on Visualization, Imaging, and Image Processing*, Marbella, Spain, 2004. 6 – 8.
- 4 Hval ES, Barrett SF, Wilcox M, Bailey TA. An improved Morris Water Maze tracking algorithm for psychophysical studies. *Annals of Biomedical Engineering*, 2004, 32(8):1141 – 1152.
- 5 Meyer D, Denzler J, Niemann H. Model based extraction of articulated objects in image sequences for gait analysis. *Proc. of IEEE International Conference on Image Processing*. Santa Barbara, California, 1997. 78 – 81.
- 6 Haritaoglu I, Harwood D, Davis LS. Real-time surveillance of people and their activities. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22(8):809 – 830.
- 7 Lipton AJ, Fujiyoshi H, Patil RS. Moving target classification and tracking from real-time video. *Proc. of the 4th IEEE workshop on applications of computer vision*. Princeton, New Jersey, 1998. 8 – 14.
- 8 Grossman M, Skinner MH. A simple computer based system to analyze Morris Water Maze trails on-line. *Journal of Neuroscience Methods*, 1996, 70(2):171 – 175.