

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学 号: 20051302456

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

## 基于背景减除的运动目标检测算法研究

### Research on Moving Objects Detection Algorithms Based on Background Subtraction

陈 燕 萍

指导教师姓名: 余 臻 副教授

专 业 名 称: 检测技术与自动化装置

论文提交日期: 2 0 0 8 年 5 月

论文答辩时间: 2 0 0 8 年 月

学位授予日期: 2 0 0 8 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2008年 05 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日



## 摘要

运动目标检测是指在视频图像序列中判断是否有前景目标的运动，如果有则对目标进行初始定位的检测过程，它是实现目标识别跟踪的基础。本文主要研究基于背景减除的运动目标检测算法，并提出一种改进的基于混合高斯模型的算法。论文的主要研究成果包括：

(1) 研究了目前几种典型的基于背景减除的运动目标检测算法，并在分析这些算法的基础上，研究这些算法的性能，比较它们的特性。

(2) 在比较几种典型的背景减除算法之后，选择基于混合高斯模型的运动目标检测算法用于复杂背景的实时应用；在研究该算法的基本原理及流程之后，对该算法进行改进，提高算法的实时性和可靠性。

(3) 提出了基于优先级及分区域的正方形邻间像素比较算法，该算法通过将样本像素与其周围像素进行匹配来估计图像的移动，用于补偿视频捕捉时摄像头的抖动，降低图像抖动对运动目标检测造成的影响。

(4) 基于阴影的相对稳定特性，提出了利用高斯分布来描述阴影的阴影检测及抑制算法，提高阴影消除的速度，使算法具有更好的实时性。

(5) 在算法的后处理方面，针对混合高斯背景模型中可能没有处理到的背景扰动问题进行进一步的处理，通过将备选的前景像素与周围像素进行匹配的方法减少错误肯定的发生率，提高检测效果的准确性；另外，将检测结果用图像二值形态学进行处理，通过计算连通区域的面积等，得到更准确的目标区域。

**关键词：**背景减除法；运动目标检测；混合高斯模型；摄像头抖动补偿。

## Abstract

Moving objects detection extracts interesting moving objects in the images from an image sequence. It is the first step in an auto detection system, and is the fundamental work for objects classification and objects tracking. In this paper, we focus on the research of detection algorithms which are based on background subtraction, and propose an improved background subtraction algorithm using adaptive Gaussian mixture models. The main work of this paper includes:

(1) Introducing some typical detection algorithms which are based on background subtraction, then analyzing and estimating the performance of these algorithms in detail by comparing.

(2) After the comparison of the typical algorithms, we choose the adaptive Gaussian mixture models as the main algorithm for motion detection in complex backgrounds. Some improvements are added to the model to improve the performance of the algorithm, making it more real-time, and more reliable.

(3) A square neighborhood matching algorithm is put forward in this paper to compensate the motion of the camera. The algorithm matches some sample pixels to their neighborhood to get the motion information of the camera, and then adjusts the whole input image with the motion information, making the image prepared for detection.

(4) Based on the fact that shadows are relatively stable in that their values have little to do with the objects that cast them, we propose a method to eliminate shadows, which presents each shadow of a pixel with a Gaussian model. The speed of the algorithm is relatively fast, because only a little extra calculation is needed to detect and eliminate shadows.

(5) In the post-detection process, we take a step further to remove some more noise from the moving areas that are obtained with background subtraction, thus lower the false positive detection, making the detection more accurate. In addition, we use the math morphology techniques to cure the target areas.

**Keywords:** Background subtraction, moving objects detection, Gaussian mixture models, camera motion compensation.

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
<b>1.1 课题的提出</b> .....	1
<b>1.2 运动目标检测的研究现状</b> .....	2
1.2.1 帧间差分法.....	2
1.2.2 光流法.....	4
1.2.3 背景减除法.....	6
<b>1.3 本文的研究内容</b> .....	8
<b>1.4 论文安排</b> .....	9
<b>第二章 预备知识</b> .....	11
<b>2.1 序列图像</b> .....	11
<b>2.2 颜色模型</b> .....	11
2.2.1 RGB 颜色模型.....	11
2.2.2 HSV 颜色模型.....	13
2.2.3 RGB 颜色模型与 HSV 颜色模型之间的转换.....	13
<b>2.3 图像二值形态学处理</b> .....	14
2.3.1 腐蚀运算.....	15
2.3.2 膨胀运算.....	15
2.3.3 闭运算.....	16
<b>第三章 基于背景减除的运动目标检测算法</b> .....	17
<b>3.1 引言</b> .....	17
<b>3.2 典型的背景减除算法</b> .....	19
3.2.1 W4 模型.....	19
3.2.2 均值滤波法.....	20
3.2.3 码书模型.....	20
3.2.4 隐马尔可夫模型.....	23
3.2.5 单高斯背景模型.....	28

3.2.6 混合高斯背景模型.....	30
3.2.7 内核密度估计法.....	30
3.2.8 均值替换法.....	32
<b>3.3 背景减除算法的分析比较 .....</b>	<b>34</b>
3.3.1 直接计算背景像素值的算法分析.....	35
3.3.2 基于统计模型的算法分析.....	36
3.3.3 算法分析小结.....	37
<b>第四章 基于混和高斯模型的运动目标检测算法 .....</b>	<b>40</b>
4.1 引言 .....	40
4.2 系统模型 .....	41
4.3 摄像头抖动消除 .....	42
4.3.1 摄像头抖动补偿基础.....	42
4.3.2 正方形邻间像素匹配算法.....	43
4.4 改进的混和高斯背景模型 .....	48
4.4.1 混和高斯背景模型的基本原理与改进.....	49
4.4.2 运动目标检测.....	52
4.4.3 背景模型的更新算法.....	53
4.5 消除阴影和噪声 .....	54
4.5.1 消除阴影.....	55
4.5.2 消除噪声.....	58
4.6 仿真结果与分析 .....	59
4.7 本章小结 .....	60
<b>第五章 结论与展望.....</b>	<b>62</b>
<b>参考文献.....</b>	<b>64</b>
<b>作者在攻读硕士学位期间发表的论文.....</b>	<b>70</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>71</b>



# Contents

<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	1
<b>1.1 Research Purpose</b> .....	1
<b>1.2 Research of Moving Objects Detection Algorithms</b> .....	2
1.2.1 Temporal Difference Algorithms .....	2
1.2.2 Optical Flow Algorithms.....	4
1.2.3 Background Subtraction Algorithms.....	6
<b>1.3 Contents of This Paper</b> .....	8
<b>1.4 Paper Organization</b> .....	9
<b>Chapter 2 Knowledge Preparation</b> .....	11
<b>2.1 Image Sequence</b> .....	11
<b>2.2 Color Model</b> .....	11
2.2.1 RGB Color Model.....	11
2.2.2 HSV Color Model.....	13
2.2.3 Color Model Conversion Between RGB and HSV .....	13
<b>2.3 Mathematical Morphology</b> .....	14
2.3.1 Erode Operation.....	15
2.3.2 Dilate Operation.....	15
2.3.3 Close Operation .....	16
<b>Chapter 3 Moving Objects Detection Algorithms based on Background Subtraction</b> .....	17
<b>3.1 Introduction</b> .....	17
<b>3.2 Some Typical Algorithms</b> .....	19
3.2.1 W4 Background Model.....	19
3.2.2 Average Filtering.....	20
3.2.3 Codebook Background Model .....	20
3.2.4 Hidden Markov Background Model .....	23
3.2.5 Single Gaussian Background Model.....	28

3.2.6 Adaptive Gaussian Mixture Model .....	30
3.2.7 Kernel Density Estimation Algorithm .....	30
3.2.8 Background Subtraction Algorithm Based on Mean-Shift .....	32
<b>3.3 Analyse and Comparison of Some Typical Background Models.....</b>	<b>34</b>
3.3.1 Analyse of Algorithms Based on direct Computing of Background pixel values .....	35
3.3.2 Analyse of Algorithms Based on Statistical Models.....	36
3.3.3 Summary .....	37
<b>Chapter 4 An Improved Gaussian Mixture Model.....</b>	<b>40</b>
<b>4.1 Introduction.....</b>	<b>40</b>
<b>4.2 System Architecture.....</b>	<b>41</b>
<b>4.3 Camera Motion Compensation.....</b>	<b>42</b>
4.3.1 Knowledge of Camera Motion Compensation .....	42
4.3.2 A Square neighborhood matching algorithm .....	43
<b>4.4 The Improved Gaussian Mixture Model.....</b>	<b>48</b>
4.4.1 Introduction of the Improved Gaussian Mixture Model.....	49
4.4.2 Moving Objects Detection .....	52
4.4.3 Updating the Background Model.....	54
<b>4.5 Shadows Elimination and False Suppresion.....</b>	<b>55</b>
4.5.1 Shadows Elimination .....	55
4.5.2 False Suppresion .....	58
<b>4.6 Experiments and Results.....</b>	<b>59</b>
<b>4.7 Summary.....</b>	<b>60</b>
<b>Chapter 5 Conclusion and Prospect.....</b>	<b>62</b>
<b>Reference.....</b>	<b>64</b>
<b>Published Paper.....</b>	<b>70</b>
<b>Thanks .....</b>	<b>71</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 课题的提出

随着计算机硬件的快速发展，越来越多的摄像头遍布在各个公共场所。这些摄像头产生的数量巨大的原始视觉信息，不但需要大量的人力资源进行监视处理，并且，人工处理这些信息的工作枯燥乏味，监视人员往往无法长时间专心于这些信息的分析，容易遗漏重要信息。因此，与这些硬件设备相配合的自动视频监控的软件需求显得越来越突出，视频监控已经成为目前计算机视觉研究领域的一个热门话题。

自动视频监控的内容主要包括运动目标检测，目标分类，目标跟踪和行为理解四个部分。其中，运动目标检测是从序列图像中将运动变化区域从背景图像中分割提取出来，以备后续步骤的使用；目标检测的目的就是准确地从通过运动检测得到的运动区域中提取出与目标相对应的团点；与目标检测相比，目标跟踪属于更高级的计算机视觉问题，它为下一步的行为理解提供充分的数据；而行为理解是通过分析目标的运动模型，来生成对目标的个体行为和交互行为的高级描述，并用自然语言将这种描述表达出来<sup>[1]</sup>。通过这四个步骤，无需人工的干预，计算机便能自动监控摄像头所在的场景，使这些摄像头真正起到监控的作用。

运动目标检测作为整个视频监控的基础工作，它的效果好坏影响着整个监控系统的性能，只有实时、准确、可靠地将运动目标从背景中分离出来，才能保证后续步骤的准确性。然而，运动目标的检测不是一件容易的事，它仍是一个具有挑战性的课题。在检测运动目标时，不能仅仅简单考虑图像中像素变化（运动物体对应像素变化），摄像头的抖动、天气情况、光线变化、阴影移动以及背景中的物体扰动等造成的像素变化都会给运动目标检测的实时性和可靠性带来影响。人们总希望一个好的视频目标检测和提取算法，能适用于监视各种环境，但实际应用中要解决这个问题是十分困难的，因为实际应用中不但要考虑到算法要尽量适应于多种环境，而且除非有专门的硬件支持，否则我们往往不得不在算法的复杂度、可靠性，以及实时性等方面折衷考虑。

目前，研究人员已经开发了多种运动目标检测的方法，包括帧间差分法，光流法和背景减除算法。根据实际应用需求的不同，不同的检测算法都是在可靠性、实时性和准确性之间折衷得到的。其中，背景减除方法是目前运动目标检测

中最常用的一种方法，它一般能够提供最完整的运动目标信息，但对于动态场景的变化特别敏感。背景减除法的困难之处在于为复杂场景寻找理想的背景模型，以及模型的建立、保持与更新。目前最常用的背景减除算法有十几种，如何能根据不同的应用需求，选择合适的检测算法，并且对已有的检测算法进行改进，提高算法的性能，减少算法对应用背景的限制，已成为国内外学者研究的热点问题，也是本文的主要研究内容。

## 1.2 运动目标检测的研究现状

近年来，国内外对于视频序列中运动目标检测技术的研究取得了大量的成果，许多新的方法也相继出现。现有的运动目标检测算法主要有：帧间差分法<sup>[2][3][4][5]</sup>，光流法<sup>[6][7][8][9][10]</sup>和基于背景减除的目标检测算法<sup>[11][12][13]</sup>。

### 1.2.1 帧间差分法

帧间差分法，又称为时间差分法，瞬时差分法，其主要思想是利用序列图像相邻帧强相关性，取相邻的序列图像作为当前的场景背景，通过帧间差分进行图像的变化检测，进而通过滤波等后处理确定运动目标。例如 Lipton 等<sup>[14]</sup>利用两帧差分方法从实际视频图像中检测出运动目标，进而用于目标的分类与跟踪；一个改进的方法是利用三帧差分代替两帧差分，如 VSAM<sup>[15]</sup>开发了一种自适应背景减除与三帧差分相结合的混合算法，它能够快速有效地从背景中检测出运动目标。

帧间差分法的基本流程图如图(1-1)所示，主要包括三个步骤：预处理，图像差分，后处理。

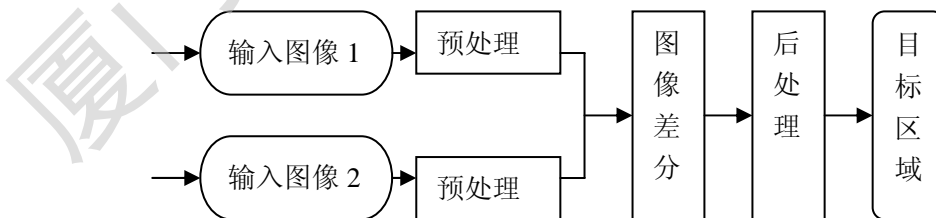


图 1-1 帧间差分法基本流程图

预处理：由于原始采集的图像往往存在很严重的噪声，直接用它们求差分图像受噪声的影响较大，差分图像的效果很差，不利于后面的图像分析。因此，

人们在作图像差分之前，常常会先对原始图像进行滤波预处理。

图像差分：在对原始图像进行预处理后，取相邻两帧图像进行差分。假设  $F(k)$  和  $F(k-1)$  表示第  $k$  帧和第  $k-1$  帧图像，则差分图像  $D(k)$  为：

$$D(k) = F(k) - F(k-1) \quad (1-1)$$

差分算法如下：

$$D(k) = \begin{pmatrix} f(k,1,1) - f(k-1,1,1) & \text{K} & f(k,1,n) - f(k-1,1,n) \\ & \text{M} & \\ f(k,m,1) - f(k-1,m,1) & \text{L} & f(k,m,n) - f(k-1,m,n) \end{pmatrix} \quad (1-2)$$

然后，二值化差分图像：

$$d(k,i,j) = \begin{cases} 0 & f(k,i,j) - f(k-1,i,j) \leq \delta \\ 1 & f(k,i,j) - f(k-1,i,j) > \delta \end{cases} \quad (1-3)$$

$\delta$  为算法二值化的阈值。阈值的选取在运动目标提取过程中非常重要，一个好的阈值，可以大大提高目标提取的精度。阈值的选取方法有很多种。最简单、最直接的方法连续拍摄同一场景两次，取得两帧图像，将拍摄的两幅图像作差，将最大灰度像素差值作为提取运动目标的阈值。

后处理：由于噪声的影响，会使一些属于背景上的点被错误地检测为前景地运动目标，也会使前景目标点被错误地检测为背景点。同时由于背景上物体的轻微扰动也会使这些背景点被错误地识别为运动目标点。为了消除这些影响，需要对获得前景和背景的差分图像作一些处理，比如用数学形态学的方法对差分图像进行处理，计算每个连通域的面积，对面积设定阈值  $T$ ，以此滤去面积较小的连通区域。

帧间差分法进行目标检测的主要优点是：算法实现简单；程序设计复杂度低；易于实现实时监视；由于相邻帧的时间间隔一般较短，因此该方法对场景光线的变化一般不太敏感。最基本的帧间差分法可以检测到场景的变化，并且提取出运动区域，但在实际应用中，帧间差分法的结果精度不高，难以获得目标所在区域的精确描述。因为在实际应用中，特别是在下一步进行目标跟踪中，我们总希望提取的运动区域尽量接近运动区域的真实形状，也就是说，我们提取出的运动区域应是完整的，同时也应该包括尽量少的背景像素点。但是，帧间差分法在使用过程中存在两个问题<sup>[16]</sup>：

一是两帧间目标的重叠部分不容易被检测出来，即只检测出目标的一部分或者目标出现了较大比例的空洞，这是由于我们直接用相邻的两帧相减后，保留下来的部分是两帧中相对变化的部分，所以两帧间目标的重叠部分就很难被检测出来；

二是检测目标在两帧中变化的信息，这样会存在较多的伪目标点，检测出的目标往往比实际的目标大一些，这是由于实际目标颜色或者灰度在一定的区域内较为均匀所导致的。

### 1.2.2 光流法

光流法是一种以灰度梯度本不变或亮度恒定的约束假设为基础的目标检测的有效方法。光流的概念是 Gibson 于 1950 年首先提出的，它是空间运动物体被观测面上的像素点运动产生的瞬时速度场，包含了物体 3D 表面结构和动态行为的重要信息<sup>[17]</sup>。一般情况下，光流由相机运动、场景中目标运动，或两者的运动产生。当场景中有独立的运动目标时，通过光流分析可以确定运动目标的数目、运动速度、目标距离和目标的表面结构。目前，光流研究在环境建模、目标检测与跟踪、自动导航及视频事件分析中得到了广泛的应用<sup>[18][19]</sup>。

目前，光流计算方法大致可分为三类<sup>[20]</sup>：基于匹配的、频域的或梯度的方法。基于匹配的光流计算方法包括基于特征和区域的两种。基于特征的方法不断地对目标主要特征进行定位和跟踪，对目标大的运动和亮度变化具有鲁棒性。存在的问题是光流通常很稀疏，而且特征提取和精确匹配也十分困难。基于区域的方法先对类似的区域进行定位，然后通过相似区域的位移计算光流。这种方法在视频编码中得到了广泛的应用。然而它计算的光流仍不稠密。另外，这两种方法估计亚像素精度的光流也有困难，计算量很大。在考虑光流精度和稠密性时，基于匹配的方法不如基于频域和梯度的方法。

基于频域的方法利用速度可调的滤波组输出的频率或相位信息。虽然能获得很高精度的初始光流估计，但往往涉及复杂的计算。另外，进行可靠性评价也十分困难<sup>[21]</sup>。

基于梯度的方法利用图像序列的时空微分计算 2D 速度场（光流）。由于计算简单和较好的实验结果，基于梯度的方法得到了广泛研究。虽然很多基于梯度的光流估计方法取得了较好的光流估计，但由于在计算光流时涉及到可调参数的

人工选取、可靠性评价因子的选择困难，以及预处理对光流计算结果的影响，在应用光流对目标进行实时检测与自动跟踪时仍存在很多问题<sup>[22]</sup>。

光流法计算的基本流程为：首先取前后两帧的图像进行运动场估计，然后利用运动场估计得出的运动向量进行场景分割，再对得到的分割结果进行后处理，如消除小的噪声干扰区域以及合并小区域等，当后处理完毕后，统计区域个数，如果存在着一个以上不同区域，则说明场景有变化，反之则认为场景没有任何改变。

经典的光流计算基于如下两个假设：

- (1) 任何物体点所观察到的亮度随时间是恒定不变的。
- (2) 图像平面内的邻近点以类似的方式移动。

设  $f(x, y, t)$  表示图像  $(x, y)$  处像素点在时间  $t$  的像素值，将动态图像表示为关于位置和时间得函数，并允许表示成一个泰勒序列：

$$f(x+dx, y+dy, t+dt) = f(x, y, t) + f_x dx + f_y dy + f_t dt + O(\partial^2) \quad (1-4)$$

式中， $f_x$ ， $f_y$  和  $f_t$  分别为  $x$  方向， $y$  方向和  $t$  方向的偏导数。我们可以找到  $dx$ ， $dy$  和  $dt$  使得：

$$f(x+dx, y+dy, t+dt) = f(x, y, t) \quad (1-5)$$

如果  $dx$ ， $dy$  和  $dt$  非常小，则有：

$$-f_t = f_x \frac{dx}{dt} + f_y \frac{dy}{dt} \quad (1-6)$$

为了计算速度， $c = (\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}) = (\mu, \nu)$ ，引进平滑约束条件，即在给定的领域内速度向量场是缓慢变化的，简化为关于平方误差数值的最小化：

$$E^2(x, y) = (f_x \mu + f_y \nu + f_t)^2 + \lambda(\mu_x^2 + \mu_y^2 + \nu_x^2 + \nu_y^2) \quad (1-7)$$

其中  $\mu_x^2, \mu_y^2, \nu_x^2, \nu_y^2$  表示作为错误偏导数的平方， $\lambda$  为拉个朗日系数，简化为关于微分方程的求解<sup>[23]</sup>：

$$(\lambda^2 + f_x^2)\mu + f_x f_y \nu = \lambda^2 \bar{\mu} - f_x f_t \quad (1-8)$$

$$(\lambda^2 + f_y^2)\nu + f_x f_y \mu = \lambda^2 \bar{\nu} - f_y f_t \quad (1-9)$$

式 1-9 中,  $\bar{\mu}$ ,  $\bar{v}$  是速度在  $(x, y)$  领域中关于  $x$  和  $y$  方向上的平均值, 方程的解为:

$$\mu = \bar{\mu} - f_x \frac{P}{D} \quad (1-10)$$

$$v = \bar{v} - f_y \frac{P}{D} \quad (1-11)$$

$$P = f_x \bar{\mu} + f_y \bar{v}, \quad D = \lambda^2 + f_x^2 + f_y^2 \quad (1-12)$$

光流的计算就是基于 Gauss-Seudel 的迭代方法。

光流计算法的优点在于光流不仅携带了运动区域的运动信息, 而且还携带了有关景物三维结构的丰富信息, 它能够检测独立运动的对象, 不需要预先知道场景的任何信息, 并且能够适用于静止背景和运动背景两种环境, 可用于摄像机运动的情况, 有较好的适应性。但是当运动区域与背景图像的对比度太小, 或图像存在噪音时, 单纯的从图像灰度强度出发来探测运动区域的光流场方法将会导致很高的虚警率。另外, 这种方法的计算复杂耗时, 除非有特殊的硬件支持, 很难实现实时运动区域的检测。从而导致光流计算法的实用性比较差。

### 1.2.3 背景减除法

背景减除法是目前运动检测中最常用的一种方法, 它是利用当前图像与背景图像的差分来检测出运动区域的一种技术, 其基本思想是首先建立一个与真实背景较相近的背景模型, 然后将待检帧与背景模型进行差分运算, 找出其中有变化的区域作为运动目标。目前已有很多背景减除方法, 最常见的有: 均值滤波法, 基于 Kalman 滤波法, W4 方法, 码书模型, 本征法, 隐马尔可夫法等; 一些学者采用混合高斯模型对前景和背景同时建模, 或用内核密度估计方法、利用平滑高斯核来提高背景模型的适应性, 或用基于均值替换的估计方法利用协方差矩阵来对多模型分区的背景建模。

背景减除法的基本流程如图(1-2)所示, 主要包括四个步骤为: 预处理, 背景建模, 目标检测, 后处理。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库