

文章编号: 1002-0268 (2004) 12-0123-04

路况监控图像预警处理算法实现

李 勃¹, 陈启美¹, 王颖健²

(1. 南京大学通信技术研究所, 江苏 南京 210093; 2. 江苏省高速公路经营管理中心, 江苏 南京 210009)

摘要: 路况监控图像的识别是交通智能化的重要内容, 其中主要在于计算机处理的算法研究。本文提出了路况监控图像预警处理算法的主体设计思想, 描述了软件的实现流程, 分析了监控隐患对象, 提出处理方案, 并针对关键算法, 描述其原理, 包括视角归一、运动检测、跟踪、车辆行人分离、静止物体检测, 进而给出了实验图像的处理结果。

关键词: 高速公路监控; 模式识别; 图像预警

中图分类号: U495

文献标识码: A

Forecasting Arithmetic Based on Expressway Monitor Video

LI Bo¹, CHEN Qi-mei¹, WANG Ying-jian²

(1. Communication Technique Research Center of Nanjing University, Jiangsu Nanjing 210093, China;

2. Expressway Management Center of Jiangsu, Jiangsu Nanjing 210009, China)

Abstract: Expressway monitor video is an important part of intelligent transport, of which the arithmetic of computer processing is essential key. In this paper the authors put forward a main idea of forecasting arithmetic based on expressway monitor video, describe the flow of software, analyze the hidden troubles and give out the blue print to deal with them with the theory of key arithmetic, including visual angle normalizing, moving detection, tracking, car and human separation, static detection, and present the result of experiment.

Key words: Expressway monitoring; Pattern recognition; Video based forecasting

路况监控图像是高速公路监控对象中最直观、最重要的组成部分。可是绝大部分为正常图像, 白白花费了大量的人工, 而一旦出现故障, 又有可能疏忽。如何利用计算机观看, 进行图像预处理, 检测出其中的停车抛锚、拥塞慢行、行人穿越等, 以提示监控员, 防患于未然, 正是本文的立意。文中着重讨论在预警系统中, 关于高速运动视频图像模式识别技术的计算机算法, 包括系统软件流程、监控隐患目标的分析方法以及各个关键算法的原理, 并给出了部分关键算法的图像处理结果。

1 总体分析

1.1 路况监控的特殊性

路况监控的特殊性在于: 路况摄像机三维变化(水平垂直, 焦距), 视角的变化给运动物体实际速

度、大小等参数的检测带来了较大困难; 车辆多, 速度快, 对系统的实时响应提出了高要求; 图像的亮度、色度、对比度、清晰度等受气候的影响较大, 当出现阴雨、雾雪时, 图像质量大大降低, 特别是图像亮度随时间而改变, 有碍于系统的鲁棒性。

1.2 软件主体流程

路况监控图像预警处理算法的主体流程如图 1 所示。首先将接收到的 MPEG-2 视频流进行解码; 为了确保在不同视角和焦距下运动物体速度和大小的准确检测, 在视角归一模块中提取高速公路路面, 据此生成当前图像的像素权重矩阵; 然后对视频图像进行自适应背景减除, 实时提取运动物体; 在跟踪模块中, 对检测到的每一个运动物体进行标记, 确定它在前后帧图像中的位置和状态, 确保运动物体在视频序列中的连续性, 并结合车辆行人分离模块, 着重分析其中

的车辆信息；在车辆行人分离模块中，根据运动物体在相邻帧图像中位置的变化，分析其残余光流，区分车辆和行人，完成高速公路行人检测；静止物体检测采用分层自适应背景减除法，根据像素的亮度变化检测出静止物体，并将其分配至不同的图层，确保静止物体在相互遮挡的情况下准确区分。最后对以上结果进行综合分析，针对异常情况发布预警信息。

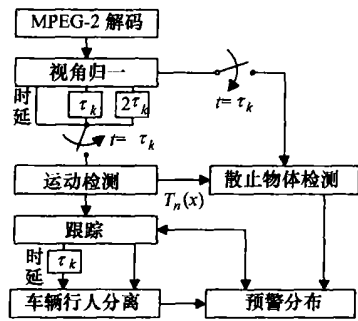


图 1 预警网络软件算法流程

1.3 监控目标分析

路况监控图像预警系统需对表 1 所示的异常情况进行实时分析，发布路况预警信息。

表 1 监控目标分析方法

异常情况	特点	分析方法
车辆低速	车辆行驶运动速度低于阈值	根据跟踪结果及像素权重矩阵，计算车辆速度
路况拥塞	监控范围内车辆数高于阈值	参考静止物体检测结果，检测当前车辆数目
停车抛锚	运动车辆少于路面所有车辆	参考静止物体检测结果，发现静止车辆
行人穿越	残余光流检测出现较大值	根据跟踪结果及像素权重矩阵，分析残余光流

2 关键算法实现

系统软件实现的核心内容在于各关键算法的独立实现，并将其相互融合。

2.1 视角归一

图像中各个像素的权重与距摄像机的远近相关，如离摄像机较远的像素具有较大的权重，反之亦然。当路况摄像机的视角受控变化时，运动物体在图像中的大小、位置及各像素的权重随之发生改变。以上因素给运动物体速度、大小检测带来了较大的困难。

为此提出视角归一的概念，即在路面检测的基础上，结合图像中像素的分布情况，生成当前视频图像的像素权重矩阵，归一化当前摄像机的视角。

由于高速公路上时刻都有车辆行驶，给路面图像的提取带来了不便，因此先对连续多帧图像进行加权平均，得到高速公路的静态背景。再将图像分割成多

个 4×4 或 8×8 的区域，考虑到高速公路路面的颜色特征、饱和度特征，对每个区域进行判断，剔除非路面的部分，如路旁树木、紧急报警电话亭等；然后将彩色图像转为灰度图像，为了降低外场光线的影响，需对图像进行灰度均衡。由于路面在各个方向上都具有较好的连续性，因此对当前图像采用水平和垂直 Sobel 模版分别进行滤波，得到图像在横向和纵向上的梯度，并对其进行融合，得到当前图像的梯度信息（参见式 1），然后剔除连续梯度较大的图像区域。

E=√(I⊗S1)²+(I⊗S2)² (1)

其中，E 代表图像的梯度值；I 为当前图像；S1 和 S2 分别为水平和垂直 Sobel 模版。

在此基础上对图像进行霍夫变换，提取高速公路车道分割线，考虑到高速公路上的弯道，将图像分为多个独立区域，分别对其进行霍夫变换，再将结果进行融合，在其间区域即为高速公路路面。根据路面在图像中的分布情况，生成当前图像的像素权重矩阵，归一化当前摄像机的视角。处理结果如图 2 所示，离摄像机越远的区域在水平方向和垂直方向均具有更大的权重，运动物体在远端移动一个像素比在近端意味着更高的速度。

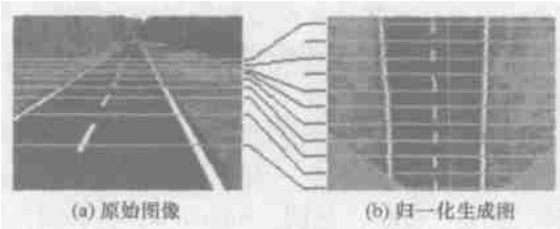


图 2 视角归一

2.2 运动检测

运动检测在路况图像预警算法中有着举足轻重的地位，是跟踪和车辆行人分离的前提。运动检测可采用前后帧相减的时间差分法、当前帧与固定背景相减的背景减除法和光流法。然而时间差分法不易提取出完整的运动物体；由于路况摄像机可控，难以得到图像的固定背景；光流法的运算量较大，不易在实时系统中实现。

针对路况图像预警的性能要求，现提出自适应背景减除^[2]法，准确提取运动物体。在该算法中，假定 In(x) 为 t=n 时刻像素 x 的亮度值，采用彼此相邻的三帧图像进行差分，判断像素 x 是否代表运动物体

{ [In(x)-In-1(x)]>Tn(x) [In(x)-In-2(x)]>Tn(x) (2)

其中, $T_n(x)$ 为判决阈值, 当以上两式中均成立时, 可断定 x 为运动点, 其背景和判决阈值保持不变

$$B_{n+1}(x) = B_n(x) \quad (3)$$

$$T_{n+1}(x) = T_n(x) \quad (4)$$

一旦式(2)中有一个不成立, 即说明 x 代表静止像素, 需更新其背景和判决阈值

$$B_{n+1}(x) = \alpha B_n(x) + (1 - \alpha) I_n(x) \quad (5)$$

$$T_{n+1}(x) = \alpha T_n(x) + (1 - \alpha) [5 \times |I_n(x) - B_n(x)|] \quad (6)$$

其中, $B_n(x)$ 为第 n 帧背景图像, 如图 3(b) 所示, α 为一个常量, 代表背景和判决阈值的更新速度, 可应需求设定不同值。图 3(c) 所示为更新背景图像后, 结合当前帧图像, 提取出运动物体。

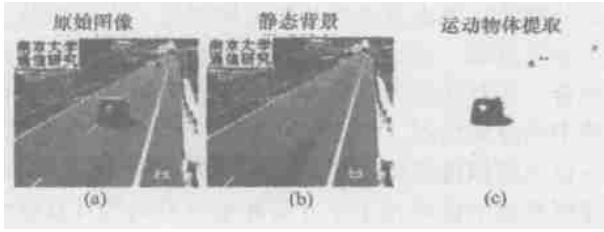


图 3 运动检测

2.3 跟踪

为了保证运动物体在前后帧图像的连续性, 需对其实时跟踪, 将前后帧图像中的运动物体进行匹配, 以确定其中相一致的部分。

为了确保匹配的准确性, 需要提取多方面的参考信息, 如运动物体的颜色、大小及速度等: 将运动区域变换至 HSV (Hue: 色调, Saturation: 饱和度, Value: 亮度) 域, 通过对 H 域的分析, 可得到当前运动物体的颜色; 根据每个运动区域大小和所在的位置, 结合像素权重矩阵, 计算出运动物体的大小; 根据连续多帧图像中运动物体的位置, 结合像素权重矩阵, 计算出运动物体的实际速度, 并预测出运动物体在下一帧图像中的位置。参考以上信息, 将前一帧的运动物体与当前帧预测位置附近的运动物体进行匹配。

由于运动物体的边缘区域受路面信息的干扰较大, 因此在匹配过程中, 应先采用一个标准化矩阵 W 对运动物体进行处理, 降低边缘区域的权重

$$W(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left[1 - \frac{r(x)}{r_{\max}} \right] \quad (7)$$

其中, $r(x)$ 为像素到运动物体中心的距离; $r_{\max}$ 为运动物体的边缘距中心最大距离。

由于匹配运算的复杂度为 $O(N^2 M^2)$ (N, M 分别为运动物体在 X 方向和 Y 方向上像素数目), 当运动物体较大时, 匹配运算将占用大量系统资源, 因此在

匹配前, 需要对运动物体进行缩小, 同时为了防止原本较小的运动物体在缩小过程中某个方向上信息丢失, 应分别在 X 和 Y 方向上分别进行缩小。

运动物体匹配将产生如下 3 种不同结果, 应采取不同的措施进行处理。

(1) 当前图像中的运动物体和上一帧的运动物体完全匹配, 这是跟踪系统中最好的情况。

(2) 上一帧的运动物体在当前帧中没有找到与之匹配结果, 这有两种可能: 运动物体已经离开系统的监控范围或状态完全改变, 此时参考上一帧中运动物体所在位置, 判断其是否离开, 否则调用系统的静止物体检测模块, 确定其是否已停止。

(3) 当前帧的运动物体在上一帧中没有与之匹配的结果, 这有两种可能: 新的运动物体的进入系统的监控范围或状态完全改变, 此时应该根据未能正确匹配的运动物体所在位置, 判断其是否为新的运动物体, 否则调用系统的静止物体检测模块, 确定其是否停止。

最后对匹配成功的运动物体进行标记, 并根据车辆行人分离模块的信息, 从中区分出车辆, 针对车辆的运动参数进行分析。

2.4 车辆行人分离

为了得到车辆的相关信息, 需要区分运动物体中的车辆和行人。同时由于高速公路是一条全封闭的公路, 一旦路面出现行人, 则有可能发生了较为严重的事故, 如交通阻塞、车辆抛锚或交通事故等。

一般说来, 可通过判断运动物体的大小来区分车辆和行人, 但采取这种方法容易受到图像质量的干扰, 如图像中突然出现的马赛克等, 产生误报警信息。

车辆和行人运动最根本区别在于车辆行驶是一种刚体运动, 而人的行走是一种非刚体运动。针对以上特征, 可采用运动物体残余光流^[3]检测法来实现车辆和行人的准确区分。根据跟踪的结果, 计算出每个运动物体的光流 $V(x)$ 及其质心的位置改变 D , 从而得到运动物体的残余光流 $R(x)$ 及其平均值 A

$$R(x) = V(x) - D \quad (8)$$

$$A = \sum |R(x)| / N \quad (9)$$

其中, N 为运动区域的像素个数。

图 4 给出了车辆行驶和行人行走的残余光流平均值 A 的比较, 从中可以看出, 对于车辆行驶等刚体运动, 其残余光流的平均值 A 较小, 并且随时间的改变不大, 而对于行人行走等非刚体运动, 其残余光流平均值 A 较大, 并且随时间变化有较大的波动。

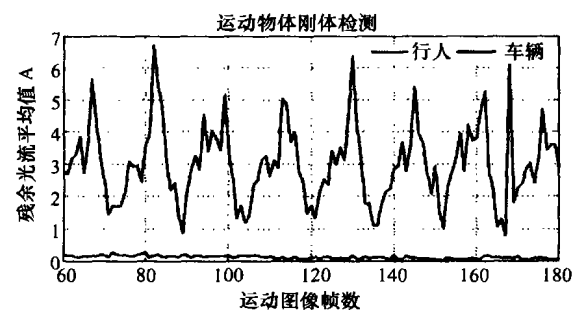


图 4 运动物体残余光流检测

2.5 静止物体检测

基于运动物体检测的方法虽然能实时检测出车辆的速度、大小等参数，但它容易漏检低速或停止的车辆，为此在本静止物体检测模块中提出了分层自适应背景减除算法，以弥补运动物体检测的缺陷。

分层自适应背景减除算法主要有两个部分：像素分析和区域分析。其中像素分析用于测定当前像素是否为静态背景、运动物体或静止物体；区域分析主要将非背景像素归纳为运动物体区域或静止物体区域。

在像素分析过程中，主要对其亮度变化进行分析，并根据它的稳态值将其划分至不同的状态。当运动物体经过某一像素时，它的亮度将呈现一个阶跃，在保持一段时间后，恢复至初始值，如图 5 (a) 所示。当运动物体移动至这个像素并且停留在此时，它的亮度将出现一个阶跃，然后保持在这个新的亮度值上，如图 5 (b) 所示。天气变化将导致一个像素亮度的缓慢变化，没有明显的阶跃，如图 5 (c) 所示。

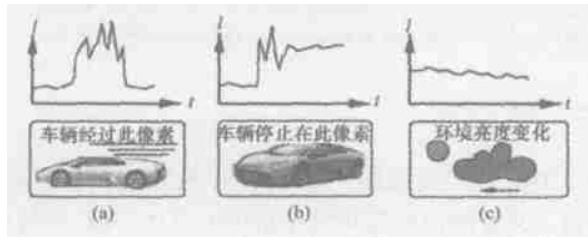


图 5 像素亮度特性

对像素进行检测时，需要确定亮度阶跃值 $H(x)$ 以及其稳态值 $S(x)$ ，一般说来需要对前 k 帧图像(如 1~2s 的视频序列)进行综合分析。设 $I_t(x)$ 为距当前 k 帧的图像像素 x 的亮度值，它的阶跃触发值由距当前 k 帧图像的前五帧中的亮度最大差值决定

$$H(x)=\max\{|I_t(x)-I_{t-j}(x)|, j\in[1,5]\} \tag{10}$$

其稳定状态 $S(x)$ 由第 k 帧图像之后至当前图像共 k 帧中像素 x 的亮度变化来决定

$$S(x)=\frac{k\sum_{j=0}^k I_{t+j}^2(x)-[\sum_{j=0}^k I_{t+j}(x)]^2}{k(k-1)} \tag{11}$$

在确定像素的状态后，为了确保静止物体在相互遮挡的情况下能准确区分，需要将所有的非图像背景的像素以半径 r (r 的选择由像素所在区域的权重决定) 聚类至各个区域 R_i ，再对其进行分类，将其划分至不同的图层中。

3 算法特点及实验效果

本文提出了路况监控图像预警处理的多种算法，应具体根据系统的功能、实时性、鲁棒性要求，加以融合使用。诸如，利用视角归一提取图像的道路信息，并生成像素权重矩阵，进而综合采用运动物体检测和静止物体检测；在运动检测中，采用了自适应背景提取的方法，随着图像的变化，自动更改当前的背景及其阈值，同时融合识别与跟踪技术，确保车辆图像信息的连续性，还加入了行人检测算法，作为预警的多方位参考；在静止物体检测过程中，分析像素在连续多帧图像中亮度变化的情况，对其进行分类，再将静止物体的像素进行分层管理，以确保静止物体在相互遮挡情况的准确区分。

实验主机配置为 Pentium4-1.6G/256M，WinXp 操作系统，图像帧大小为 176×144，在路况图像质量较好的情况下，实时对图像以 15Hz 的频率进行运动检测，2Hz 的频率进行静态检测，准确分离和跟踪路面的运动物体，分析其运动速度和状态，检测出其中停车抛锚、拥塞慢行、行人穿越等异常情况。

需要指出，计算机远不如肉眼的鉴别能力，预警系统中运动物体之间的遮挡处理以及多摄像机的融合使用是下一阶段的主要研究内容。

参考文献:

[1] 陈启美. Net-DSC 全程监控系统——基于网络相机的全程监控系统设计 [J]. 公路交通科技, 2003, 20 (5): 91-94.
[2] Collins R. et al A System for Video Surveillance and Monitoring: VSAM Final Report [R]. Carnegie Mellon University, Technical Report; CMU-RI-TR-00-12 2000.
[3] Haritaoglu I, Harwood D, Davis L W4: Real-time Surveillance of People and Their Activities [J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22 (8): 809-830.